SCIENCES ET AVENIR
sciencesetavenir.fr

© MITJA VARELA/GETTY/PHOTOMONTAGE DM7/SHUTTERSTOCK - CDC/SIPA

## LA FIN DES DINOSAURES MINUTE PAR MINUTE p.54

# RETARDER LE VIEILLISSEMENT

## • 34 ans • 60 ans • 78 ans •

### Trois âges cruciaux découverts par les chercheurs p.34

## CORONAVIRUS Son évolution p.12

MARS 2020 - N° 877 ALLEMAGNE 6.80 € / AUTRICHE 5.80 € / BELGIQUE 5.20 € / GRÈCE 5.20 € / ESPAGNE 5.20 € / ITALIE 5.20 € / DOM 5.20 € / ANDORRE 4,90 € / LUXEMBOURG 5.20 € / PORTUGAL 5.20 € / TOM 730 XPF / TOM (AVION) 1400 XPF / SUISSE 8.80 CHF / TUNISIE 7.90 TND / MAROC 50 DH / CANADA-USA 7.50 $
M 02667 - 877 - F: 4,80 € - RD

# NOUVELLE GAMME PEUGEOT
# HYBRIDE RECHARGEABLE

UNBORING THE FUTURE*

JUSQU'À 59 KM D'AUTONOMIE EN 100 % ÉLECTRIQUE**

À PARTIR DE 29 G $CO_2$/KM***

**MOTION & e-MOTION**

PEUGEOT

BETC Automobiles PEUGEOT 552 144 503 RCS Nanterre.

(1) Les valeurs de consommation de carburant, d'émissions de $CO_2$ et d'autonomie indiquées sont conformes à la procédure d'essai WLTP sur la base de laquelle sont réceptionnés les véhicules neufs depuis le 1er septembre 2018. Cette procédure WLTP remplace le cycle européen de conduite (NEDC), qui était la procédure d'essai utilisée précédemment. Les conditions d'essai étant plus réalistes, la consommation de carburant et les émissions de $CO_2$ mesurées selon la procédure WLTP sont, dans de nombreux cas, plus élevées que celles mesurées selon la procédure NEDC. Les valeurs de consommation de carburant, d'émissions de $CO_2$ et d'autonomie peuvent varier en fonction des conditions réelles d'utilisation et de différents facteurs tels que : la fréquence de recharge, le style de conduite, la vitesse, les équipements spécifiques, les options, les types de pneumatiques, la température extérieure et le confort thermique à bord du véhicule. Veillez à vous rapprocher de votre point de vente pour plus de renseignements. Plus d'informations sur peugeot.fr.

*Pour un futur qui ne soit pas ennuyeux.

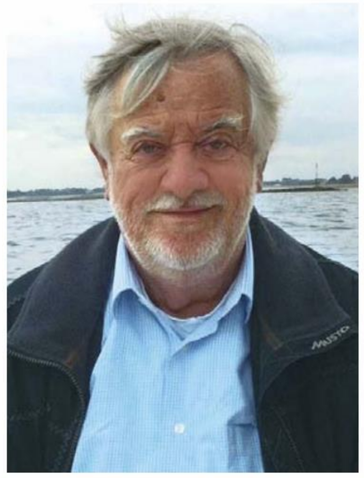
PEUGEOT RECOMMANDE TOTAL GAMME PEUGEOT HYBRIDE RECHARGEABLE : Valeurs WLTP(1) : Autonomie moyenne : **SUV PEUGEOT 3008 HYBRID4 : 59 km ; PEUGEOT 508 SW HYBRID : 52 km ; PEUGEOT 508 HYBRID : 54 km / Émissions de $CO_2$ (cumulées) : ***SUV PEUGEOT 3008 HYBRID4 et PEUGEOT 508 HYBRID : 29 g/km ; PEUGEOT 508 SW HYBRID : 30 g/km / Consommation mixte (pondérée) : SUV PEUGEOT 3008 HYBRID4, PEUGEOT 508 SW HYBRID et PEUGEOT 508 HYBRID : 1,3 l/100 km.

CROISIÈRE

# Embarquez pour la Patagonie avec Yves Coppens

## Chili - Argentine - Uruguay

**Du 12 au 29 mars 2021**



## Avec la présence exceptionnelle de **Yves Coppens**

*Paléontologue, chercheur et membre de l'académie nationale de Médecine et des Sciences*

Extension possible sur l'île de Paques - Chili

**Renvoyez ce coupon à Croisières d'exception - 77 rue de Charonne - 75011 Paris**

Nom : ..... Prénom : .....

Adresse : .....

Code postal : ⌊_⌊_⌊_⌊_⌊_⌋ Ville : .....

Tél. : ⌊_⌊_⌋⌊_⌊_⌋⌊_⌊_⌋⌊_⌊_⌋⌊_⌊_⌋ E-mail : .....

Conformément à la loi "Informatique et Liberté" du 6 janvier 1978, nous vous informons que les renseignements ci-dessus sont indispensables au traitement de votre commande et que vous disposez d'un droit d'accès, de modification et de rectification des données vous concernant. * Si les conditions météorologiques le permettent. ** Se référer à la brochure pour le détail des prestations et les conditions générales de vente. Licence n° IM075150063. Les conférenciers seront présents sauf en cas de force majeure. Photos : © iStock, © Shutterstock, Celebrity Cruises et © Croisières d'exception. Création : nuitdepleinelune.fr

sciencesetavenir-2003-pata21

Phare des Éclaireurs - Canal de Beagle - Patagonie

En **2021**, Croisières d'exception vous propose de visiter la magnifique **Patagonie**, de **Buenos Aires** à **Santiago du Chili** en passant par la **Terre de feu**, le **cap Horn** et les **fjords du Chili**. Ce périple exceptionnel vous permettra de découvrir une **nature sauvage et merveilleuse** : baleines à bosse, albatros, manchots papous, lions de mer, cormorans...
**Possibilité d'étendre votre séjour aux chutes d'Iguazú et sur l'île de Pâques.**

**Deux autres départs possibles : du 1er au 19 décembre avec Jean Pierre Luminet, astrophysicien et du 13 février au 2 mars 2021 avec l'IRIS**

**OFFRE SPÉCIALE** **- 500 €/pers.** pour toute réservation avant le 30 avril 2020 (code REVE)
soit la croisière à partir de ~~5 990 €~~ **5 490 €/pers.*** au départ de Paris
à bord du *Celebrity Silhouette*

* Vols aller et retour en classe économique depuis Paris, pension complète (hors boissons), conférences et taxes inclus. Départ de province possible : nous consulter.

Demandez la brochure
au **01 75 77 87 48**, par e-mail à
**contact@croisieres-exception.fr**,
sur **www.croisieres-exception.fr/brochures** (code **SCPAT**)
ou chez votre agence de voyages habituelle.

Croisières d'exception
S'enrichir de la beauté du monde

ÉDITO

BERNARD MARTINEZ


Dominique Leglu
Directrice de la rédaction


# Désorganisation massive

Près de 60 millions de personnes mises en quarantaine dans le Hubei, dans le centre de la Chine, du jamais vu. Pékin la capitale, transformée en ville fantôme digne d'un film de science-fiction. Des croisiéristes enfermés dans leur cabine devenue geôle ou presque. En ce premier trimestre 2020 et l'épidémie galopante de Covid-2019, c'est le monde des maladies infectieuses qui saute à la figure de tous. À l'heure où beaucoup, en France, se défient des vaccins*, voilà qu'une course planétaire (Chine, États-Unis, Europe, France…) s'engage pour en mettre un au point contre le coronavirus surgi à Wuhan en novembre 2019. Contre ce Sras-CoV-2, jugé par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le 11 février, « *très grave menace* » pour le monde. Dans les 4 pages d'événement de ce mois-ci *(pp. 12-15)*, *Sciences et Avenir* a donc voulu rappeler, de façon pédagogique, ce qui rend un virus dangereux. Les journalistes Hugo Jalinière et Hervé Ratel ont tenu également à rendre compte de la nouvelle promptitude des scientifiques à réagir et partager leurs données au niveau mondial, bénéficiant des connaissances accumulées ces dernières années sur d'autres épidémies, et des nouveaux moyens d'analyse génomique. Cette lutte est devenue indispensable, devant un pathogène muté en vecteur de désorganisation massive ! Le pouvoir politique chinois jusqu'au président Xi Jinping a bien senti le vent du boulet. À l'heure où nous mettons sous presse, il n'est toujours pas possible de prévoir l'évolution exacte de l'épidémie. On ne peut qu'espérer son confinement en Chine. Elle ne s'est pas déclarée en France ni dans aucun pays d'Europe, où les personnes ont pu être isolées voire immédiatement hospitalisées quand diagnostiquées malades. C'est encore ailleurs qu'il va falloir désormais regarder, là où pourraient émerger de nouveaux foyers épidémiques *(p. 15)*. Dans le domaine de la santé, heureusement, il y a aussi de bonnes nouvelles, que *Sciences et Avenir* n'a pas voulu laisser passer inaperçues. C'est le but du dossier « retarder le vieillissement », qui ne relève pas (non plus) de la science-fiction. Changer « l'âge biologique » et prévenir nombre de maladies chroniques, c'est possible, affirment des chercheurs tout ce qu'il y a de sérieux *(p. 34)*. Le plus étonnant, dans ce que révèle la journaliste Elena Sender, est peut-être cette découverte : il existe trois âges charnières 34 ans, 60 ans, 78 ans. C'est alors (à trois ans près…) que nos corps connaissent un bouleversement majeur de leurs protéines *(pp. 36-37)*. Mieux les identifier conduira-t-il à élaborer des sortes de… cures de jouvence ? Attention ! Les promesses charlatanesques ne sont jamais loin. Qu'on se rassure, il ne sera pas question ici de perfusion de sang de jeunes donneurs vers de vieux receveurs *(p. 38)*, pas plus que d'espérer abattre le coronavirus avec de simples tisanes de fenouil. ■

@dominiqueleglu

*Lire *S. et A.* n° 851 : « Vaccins obligatoires : mesure étatique contre défiance publique ».


SCIENCES ET AVENIR

Pour joindre la rédaction :
41 bis, avenue Bosquet 75007 Paris - Tél. : 01.55.35.56.01.
E-mail : redaction@sciencesetavenir.fr - Site Internet : sciencesetavenir.fr

**Directrice de la rédaction**
Dominique LEGLU - 01.55.35.56.02
assistée de Valérie PELLETIER - 01.55.35.56.01

**Rédacteur(trices) en chef**
Carole CHATELAIN (mensuel) - 01.55.35.56.57
Vincent REA (hors-série) - 01.55.35.56.35
avec Florence LEROY - 01. 55.35.56.36
Olivier LASCAR (pôle digital) - 01.55.35.56.15

**Adjoint à la rédaction en chef**
Laurent PERICONE (édition) - 01.55.35.56.10

**Rédacteur(trices) en chef adjoint(e)s**
Andreina DE BEI (photo-iconographie) - 01.55.35.56.31
Lise LOUMÉ (pôle digital) - 01.55.35.56.39
Mathieu NOWAK (actualités - rendez-vous) 01.55.35.56.38

**Direction artistique**
Thierry VERRET (conception)
Dominique PASQUET (couverture) - 01.55.35.56.59
Jean-Louis GILABERT (directeur artistique) - 01.55.35.56.28
Thalia STANLEY (directrice artistique adjointe) - 01.55.35.56.21

**Secrétaire générale de la rédaction**
Véronique MESSAGER - 01.55.35.56.18

**Chef(fe)s de service**
Azar KHALATBARI (fondamental, sciences de la Terre) - 01.55.35.56.46
Rachel MULOT (enquêtes) - 01.55.35.56.07

**Chef de service adjoint**
Hervé RATEL (actualités) - 01.55.35.56.45

**Cheffe de rubrique**
Sylvie RIOU-MILLIOT (médecine, santé) - 01.55.35.56.54

**Rédaction**
Bernadette ARNAUD grande reporteure (archéologie, histoire) - 01.55.35.56.44
Franck DANINOS (fondamental) - Arnaud DEVILLARD (numérique, data) - 01.55.35.56.27 - Olivier HERTEL (technologie, futur) - 01.55.35.56.03
Hugo JALINIÈRE (médecine, biologie) - 01.55.35.56.52 - Sylvie ROUAT (espace, océanologie) - 01.55.35.56.40
Elena SENDER grande reporteure (biologie, neurosciences) - 01.55.35.56.43

**Collaborateurs(trices)**
Sylvie BOISTARD, Loïc CHAUVEAU, Johan KIEKEN

**Ont participé à ce numéro**
Marine BENOIT, Héloïse CHAPUIS, Pierre KALDY, Coralie LEMKE, Pascal NGUYEN, Muriel de VÉRICOURT

**Secrétaire de rédaction**
Frank MIETTON (1re secrétaire) - 01.55.35.56.17

**Maquette** Horia BAHRI - 01.55.35.56.19

**Photo-iconographie**
Isabelle TIRANT - 01.55.35.56.32

**Pôle digital**
Joël IGNASSE (rédacteur spécialisé) - 01.55.35.56.15
Anne-Sophie TASSART (cheffe de rubrique) - 01.55.35.56.41
Camille GAUBERT (rédactrice santé) - 01.55.35.56.24
Valentin COLLIAT-DANGUS (community manager) - 01.55.35.56.70

**Documentation**
Isabelle DO O'GOMES (cheffe de service) - 01.55.35.56.49
Astrid SAINT AUGUSTE - 01.55.35.56.48

**Courrier des lecteurs**
Sara DE LACERDA - courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr

**Informatique**
Daniel DE LA REBERDIÈRE - 01.55.35.56.06

**Comptabilité - Ressources humaines**
Mélanie BENKHEDIMI - 01.55.35.56.14

**Fabrication**
Christophe Perrusson

**Publicité**
MediaObs. 44, rue Notre-Dame-des-Victoires 75002 Paris
Tél. : 01.44.88.97.70. Fax : 01.44.88.97.79.
Courriel : l'initiale du prénom puis nom suivi de @mediaobs.com

**Directrice générale :**
Corinne ROUGÉ - 01.44.88.93.70
assistée de Marie-Noëlle MAGGIE - 01.44.88.93.70

**Abonnements et anciens numéros**
**Tél. : 01.55.56.71.48**
Sciences et Avenir
4, rue de Mouchy 60438 Noailles cedex
abonnements@sciencesetavenir.fr

**Tarif des abonnements :** France, 1 an simple (12 numéros) : 35 €. 1 an complet (12 numéros + 4 hors-séries) : 48 €.
Tarifs pays étrangers sur demande.

**Abonnements Belgique :** Partner Press, tél. : 00.32.2.556.41.40 – www.viapresse.be

**Directeur de publicité :**
Sylvain MORTREUIL - 01.44.88.97.75

**Directrice de clientèle et responsable Web :**
Karine GROSSMAN - 01.44.88.89.08

**Assistante commerciale :**
Séverine LECLERC - 01.44.88.97.57

**Exécution :** Cédric AUBRY - 01.44.88.89.05

**Administration des ventes :**
Catherine FERNANDES - 01.44.88.89.20

**Directeur commercial :** Valéry SOURIEAU

**Partenariat:** Joëlle HEZARD - 01.58.65.09.99

**Directeur des abonnements**
Luc BONARDI
**Responsable des abonnements**
Lina QUACH 01.55.35.56.63

**Sciences et Avenir SAS**
Président, Directeur de la publication : **Claude PERDRIEL**
**Secrétaire général :**
Jean-Claude ROSSIGNOL
**Multimédia :** Sciences et Avenir, 41 bis, avenue Bosquet, 75007 Paris. Tél. : 01.55.35.56.00.

PEFC 10-31-3364
PEFC recyclé
Ce produit est issu de sources recyclées et contrôlées.
pefc-france.org

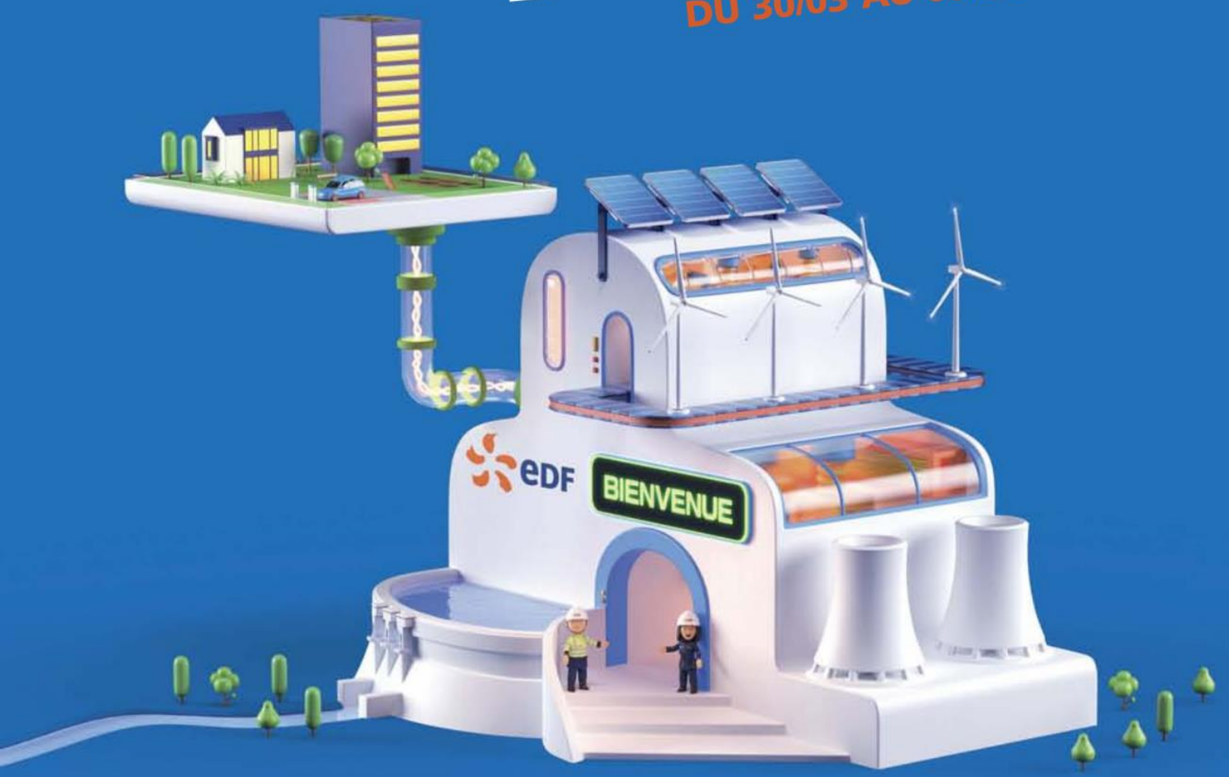
Origine du papier : Italie
Taux de fibres recyclées : 0 %
Eutrophisation : PTot = 0,017 kg/tonne de papier
Ce magazine est imprimé chez Newsprint (Lieusaint), certifié PEFC

Les noms et adresses de nos abonnés seront communiqués aux organismes liés contractuellement avec *Sciences et Avenir*, sauf opposition. Dans ce cas, la communication sera limitée au service de l'abonnement. Ce numéro comprend : un encart « L'Objet du mois l'Obs » et un message Historia jetés sur couverture en diffusion totale des abonnés ainsi qu'une lettre Sommet des Start-up jetée sur couverture en diffusion partielle des abonnés.. Commission paritaire n° 0620 K 79712. ISSN 00368636. Distribué par Presstalis.

EDF

10e édition
semaine de l'industrie
DU 30 MARS AU 5 AVRIL 2020

LES JOURNÉES de l'industrie électrique EDF
10E ÉDITION
DU 30/03 AU 05/04




DÉCOUVREZ TOUS LES SECRETS DE FABRICATION DE L'ÉNERGIE !

À l'occasion du **10ème anniversaire des JIE,** du 30/03 au 05/04, participez à une visite exceptionnelle de nos sites et découvrez comment les femmes et les hommes d'EDF produisent une énergie faible en $CO_2$*.

INSCRIVEZ-VOUS DÈS MAINTENANT SUR EDF.FR/JIE

RCS PARIS 552 081 317

**L'énergie est notre avenir, économisons-la !**

* En 2018, le mix énergétique du groupe EDF est composé à 78 % de nucléaire, 12 % d'énergies renouvelables, 8 % de gaz, 1 % de charbon et 1 % de fioul. Il est à 90 % sans émissions de $CO_2$ (émissions hors analyse du cycle de vie des moyens de production et des combustibles) – Source EDF : « Indicateurs de performance financière et extra financière 2018 ».

# SOMMAIRE

Sciences et Avenir / N° 877 / Mars 2020

DOSSIER P. 34

## Retarder le vieillissement

Avec la géroscience, une nouvelle approche multidisciplinaire, les scientifiques ont bon espoir de parvenir à ralentir le processus biologique du vieillissement, et de repousser les maladies chroniques qui lui sont liées. Des essais chez l'humain ont déjà commencé.

7 **Édito** par Dominique Leglu
11 **Courrier**

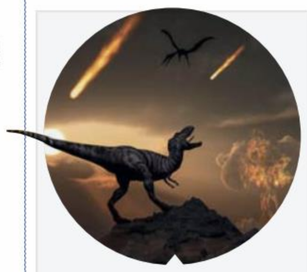
ÉVÉNEMENT
12 **Coronavirus : la lutte contre les épidémies s'accélère**

SCIENCES FONDAMENTALES
16 **ACTUALITÉS** / Des grains plus vieux que le système solaire / Des nuages étoilés / Un béton de sable et de bactéries capable de s'autorépliquer
44 **Les mystères glacés de Neptune et d'Uranus**
48 **Les dépanneurs de l'espace**
51 **L'hydrogène métallique à portée de main**
52 **Le message des géoneutrinos**

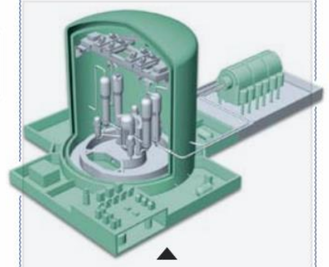
HISTOIRE
18 **ACTUALITÉS** / Une nouvelle grotte ornée en Espagne / Une momie retrouve la voix / Ces piercings faciaux ont 20 000 ans
54 **Le dernier jour des dinosaures**
58 **L'archéologie sait décrypter les scènes de crime**
61 **Une part d'ADN néandertalien chez les Africains**

NATURE
22 **ACTUALITÉS** / Alerte au ver envahissant / En Colombie, la menace des hippopotames d'Escobar / Des albatros contre la pêche illégale
62 **EPR : les défis et déboires d'un chantier hors norme**
66 **Neige artificielle, dérapages en série**
69 **Crevettes au souper, ceinture au déjeuner**
70 **Portrait : Nastassja Martin, anthropologue**
72 **Des villes flottantes vont anticiper la montée des eaux**
74 **L'extraordinaire danse des abeilles révélée**

**Coronavirus Sars-Cov-2 :** course planétaire contre ce nouveau pathogène **p. 12**



**Les derniers instants des dinosaures,** il y a 66 millions d'années **p. 54**



**EPR :** Décryptage des avanies du réacteur nucléaire français dernière génération **p. 62**

SANTÉ
26 **ACTUALITÉS** / Un métier à tisser des patchs cellulaires / Le foot nuit à la santé / Comment bien se réveiller
76 **La France expérimente le cannabis thérapeutique**
80 **La recherche s'intensifie sur les embryons chimères**
84 **Nutrition : aliments en poudre, on reste sur sa faim**
86 **Pourquoi et comment se faire des cheveux blancs**
88 **Dossier spécial : 5 questions pour comprendre le sommeil**

HIGH-TECH
30 **ACTUALITÉS** / Un film de Louis Lumière retravaillé avec l'IA / Quand les robots ont les mains moites / Avis de pollution lumineuse en orbite basse
96 **L'Europe met en chantier « l'Airbus des batteries »**
100 **Google City, une ville « intelligente » sous haute surveillance**
103 **Jouer de la flûte baroque imprimée en 3D**
104 **Comment ça marche : un pacemaker en plein cœur**

RENDEZ-VOUS
106 **Le ciel de mars**
108 **Livres**
110 **Expositions**
111 **Questions de lecteurs**
112 **Décryptage : En quoi consiste la compensation carbone des compagnies aériennes ?**
114 **L'info en continu sur sciencesetavenir.fr**

GETTY IMAGES - SCIENTIFIC ANIMATIONS, WWW.SCIENTIFICANIMATIONS.COM - MARK STEVENSON/STROCKTRECK IMAGES/AKG IMAGES - BRUNO BOURGEOIS, SOURCES EDF, ASN, IRSN

PORTES OUVERTES DU 13 AU 16 MARS**

CITROËN

LE NOUVEAU COOL C'EST LE CONFORT

CITROËN C4 CACTUS

SUSPENSIONS AVEC BUTÉES HYDRAULIQUES PROGRESSIVES®

CITROËN ADVANCED COMFORT

Tablette tactile 7''
avec Citroën Connect Nav*
Sièges Advanced Comfort*
10 aides à la conduite*

Reprise
+ 3 500 € (1)
0€ DE MALUS ÉCOLOGIQUE (2)

Citroën préfère Total. (1) 3 500 € TTC pour l'achat d'une Citroën C4 Cactus neuve en stock, hors finition Live, composés d'une remise sur le tarif Citroën conseillé au 03/01/20 et d'une aide reprise Citroën de 1 000 €, sous condition de reprise d'un véhicule et ajoutés à la valeur de reprise de votre ancien véhicule et d'une prime stock pour la commande d'un véhicule livré jusqu'au 31/03/20 inclus. La valeur de reprise est calculée en fonction du cours de l'Argus®, selon les conditions générales de l'Argus® disponibles sur largus.fr, déduction faite d'un abattement de 15 % pour frais et charges professionnels et des éventuels frais de remise en état standard. Offre réservée aux particuliers pour l'achat d'une Citroën C4 Cactus neuve, non cumulable, valable jusqu'au 31/03/20 dans le réseau Citroën participant. (2) Pas de Malus écologique sur la gamme Citroën C4 Cactus sauf sur Citroën C4 Cactus Shine PureTech 130 S&S EAT6 en fonction des équipements en option. *Équipement de série, en option ou non disponible selon les versions. **Selon autorisation préfectorale.

INSPIRED BY YOU

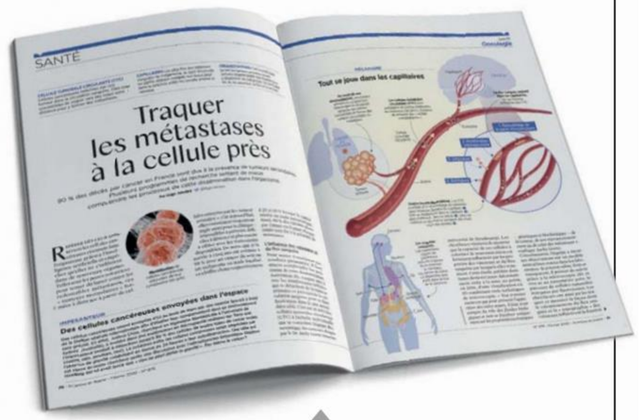
CONSOMMATIONS MIXTES ET ÉMISSIONS DE $CO_2$ DE CITROËN C4 CACTUS : NEDC CORRÉLÉ DE 3,4 À 4,7 L/100 KM ET DE 89 À 107 G/KM - WLTP DE 4,5 À 6,1 L/100 KM ET DE 118 À 139 G/KM.

AVIS CLIENTS 4,4/5
CITROEN-ADVISOR.FR

AUTOMOBILES CITROËN - RCS Paris 642 050 199

# COURRIER

Courriels à : **courrier-lecteurs@sciencesetavenir.fr**


SANTÉ

Traquer les métastases à la cellule près

Oncologie

Tout se joue dans les capillaires

**« Traquer les métastases à la cellule près »**
(*Sciences et Avenir* n° 876, février 2020)

Je tiens à vous exprimer ma surprise et mon incompréhension à la lecture de l'article sur les métastases paru dans votre numéro 876. En effet, je suppose que vous n'êtes pas sans savoir qu'il existe un test sanguin nommé ISET qui détecte précisément les cellules tumorales individuellement, et cela bien avant qu'un cancer se manifeste. Dès lors quel est l'intérêt de la recherche que vous évoquez, et pourquoi vous ne faites aucune allusion à ce test dans cet article ?

**Pierre Gaullier**

**S. et A. :** Le test sanguin ISET que vous évoquez peut en effet détecter des cellules tumorales circulantes (CTC). Mais il présente une limite importante : impossible de savoir d'où proviennent ces CTC si aucune tumeur n'est détectée par l'imagerie. *A fortiori*, il ne permet pas de renseigner la localisation d'éventuelles métastases. C'est un indicateur d'invasion tumorale qui n'est pas pour l'heure recommandé officiellement et donc non remboursé par la Sécurité sociale (coût : 496 euros).
Ce test est toutefois un outil d'intérêt pour la recherche que *Sciences et Avenir* continue de suivre au gré des publications scientifiques. En l'occurrence, c'est une approche différente dans l'étude de la diffusion métastatique que nous avons souhaité mettre en avant.

## D'où vient la dyslexie ?

Vous expliquez très mal la dyslexie en page 26 de *Sciences et Avenir* n° 876. Vous décrivez cette maladie comme un problème au cerveau alors que c'est un problème de taches de Maxwell qui sont dans les yeux.

**Étienne Brunel**

**S. et A. :** Il s'agit bien d'un problème au cerveau. Les yeux des dyslexiques ont apparemment une symétrie dans leurs taches de Maxwell (récepteurs). Mais c'est la transformation des signaux visuels, par le cerveau donc, qui entraîne ce trouble cognitif en affectant le cortex visuel. C'est un problème d'interaction entre le manque d'asymétrie et le développement de la maturation neurale du cerveau.

### Erratum

L'étoile Bételgeuse est située à 600 années-lumière de la Terre et non à 6000 comme indiqué par erreur dans la légende de la photo p. 18 (*S. et A.* n° 876).

ihp Institut Henri Poincaré

LE CINÉ-CLUB SCIENTIFIQUE DE L'INSTITUT HENRI POINCARÉ

Au cinéma LE GRAND ACTION - 5 rue des Écoles - 75005 Paris

7ème EDITION
UNIVERS CONVERGENTS
Sciences - Fictions - Société

MARDI 31 MARS 2020 - 19h30

LE SYNDROME CHINOIS
*James Bridges - 1979*

Une journaliste et un cameraman tournant un reportage dans une centrale nucléaire sont témoins d'un incident qui sème la panique. Ils comprennent qui l'incident est plus grave qu'annoncé, frôlant le "syndrome chinois".

En présence de :

**TRISTAN KAMIN**
*Ingénieur d'études en sûreté nucléaire*

**YVES LENOIR**
*Ingénieur et essayiste*

Projection suivie d'un débat entre experts scientifiques et artistiques

Entrée libre sur réservation, 7 jours avant la séance

Découvrez l'ensemble du programme 2020
www.ihp.fr/cine-club

Retrouvez les débats filmés sur la chaîne Youtube de l'Institut Henri Poincaré

cnrs · Sorbonne Université · CARMIN · Observatoire de Paris · GRAND ACTION · Sciences Avenir · L'Intendance Suivra · Les Automnales

# Coronavirus

## La lutte contre les épidémies s'accélère

La multiplication des virus émergents depuis vingt ans a stimulé les travaux des scientifiques et amélioré la réponse internationale à ces crises majeures. Agences sanitaires et laboratoires travaillent désormais dans une logique de partage général des données.

**Par Hugo Jalinière** @hugoJaliniere

KOKI KATAOKA / AP / SIPA

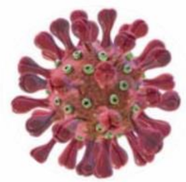
PAR DEUX FOIS AU MOINS, ces deux dernières années, des virologues chinois ont alerté dans des publications scientifiques de l'adaptation imminente d'un coronavirus à l'humain. Mais les connaissances ne permettent pas encore de prédire où et quand une recombinaison génétique favorise le passge d'une souche pathogène de l'animal à l'être humain. Après le Sras-CoV en 2003, puis le Mers-CoV en 2012, le virus respiratoire baptisé « Sras-CoV-2 » par l'Organisation mondiale de la santé est finalement apparu mi-novembre 2019, à Wuhan, agglomération de 11 millions d'habitants au centre de la Chine. Une situation explosive qui a rapidement mobilisé les spécialistes du monde entier. En effet, les virus émergents sont devenus au XXIe siècle un enjeu sanitaire majeur. Sras, Mers, H1N1 en 2009, Ebola en Afrique de l'Ouest en 2014, Zika en Amérique du Sud en 2016… Les épidémies successives et le développement des outils numériques ont conduit à une amélioration considérable de la réponse internationale à ces crises sanitaires.

### 3 agents pathogènes du XXIe siècle

**2002-2003**

**Sras-CoV**

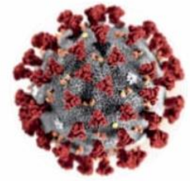
Responsable du Sras (syndrome respiratoire aigu sévère), première épidémie mortelle due à un coronavirus. 8346 cas pour 646 décès. Durée 7 mois.



**2012**

**Mers-Cov**

Responsable du Mers (syndrome respiratoire du Moyen-Orient). 2374 cas pour 823 décès. Toujours en cours.



**2020**

**Sras-CoV-2**

Responsable du Covid-19. Plus de 80 000 cas et 2000 décès. Toujours en cours.

PHANIE - SPL - SIPA

### Une plate-forme pour suivre l'évolution du virus

À commencer par le statut d'urgence de santé publique de portée internationale, créé en 2005 par l'OMS après la crise du Sras, qui permet à l'institution spécialisée de l'ONU de mobiliser un comité d'experts pour travailler en étroite collaboration avec les pays touchés. Surtout, agences sanitaires et laboratoires travaillent désormais en réseaux actifs et coordonnés, en *open science*, c'est-à-dire dans une logique de partage général des données.

Si les autorités politiques chinoises ont tardé à informer sur l'épidémie, les chercheurs n'ont pas perdu de temps une fois celle-ci connue. Dès le 10 janvier, la séquence génétique du nouveau coronavirus est ainsi rendue publique sur la plate-forme GISAID, créée en 2006, permettant aux laboratoires du monde entier de lancer les recherches. Sur une autre plate-forme publique, Nextrain, il est possible depuis 2017 de suivre l'évolution génétique du virus en même temps que sa diffusion géographique. L'analyse génomique étant désormais extrêmement rapide, on peut séquencer le génome d'une souche prélevée chez un patient et l'ajouter immédiatement à cette base de données. En France, il n'a fallu que quelques jours à l'Institut Pasteur pour séquencer la souche des cas détectés en métropole et mettre au point un test diagnostique. À titre de comparaison, deux mois avaient été nécessaires pour isoler le virus du Sras. Résultat de l'ouverture des données et des progrès techniques : en deux mois, près de 300 études sur le Covid-19 ont été publiées et plus de 80 essais cliniques sont en cours ! *« Les efforts pour enrayer une épidémie ne peuvent être efficaces qu'en collaboration avec l'ensemble des acteurs »*, insiste Olivier Schwartz, de l'Institut Pasteur *(lire l'interview p. 15)*. De sorte que la course au vaccin, elle aussi, a démarré très fort, soutenue notamment par la Coalition pour les innovations en matière de préparation aux épidémies (Cepi). Créée en 2016 juste après l'épidémie d'Ebola et cofinancé par une dizaine d'États, la Banque mondiale, le Wellcome Trust ou encore la Fondation Bill et Melinda Gates, ▸

**Des voyageurs portant un masque** à la gare de Pékin, le 22 janvier. Les déplacements massifs à l'occasion du Nouvel An chinois ont favorisé la dissémination du virus.

### RÉSERVOIR ANIMAL

## La chauve-souris, principale suspecte

NATURE PL / EB PHOTO

**Près d'une quarantaine d'espèces de coronavirus sont naturellement hébergées par les chauves-souris. Et comme pour les épidémies du Sras et du Mers, c'est de ce réservoir animal qu'a émergé le nouveau coronavirus. Analysé dès janvier, le génome du Sras-CoV-2 s'est révélé similaire à 96 % à une souche virale (RaTG13) bien connue, portée par des populations de chauves-souris de la province du Yunnan. Le virus se serait transmis à un autre animal avant d'émerger au marché de Wuhan, épicentre de l'épidémie, où nombre d'animaux étaient vendus vivants. C'est là qu'il s'est recombiné génétiquement pour sauter la barrière de l'espèce. Identifier l'hôte intermédiaire (le pangolin a été suspecté) permettra de mieux comprendre les caractéristiques infectieuses du virus. Pour le Sras-CoV, c'était la civette à masque ; pour le Mers-CoV, le dromadaire.**

elle vise à faciliter la mise au point de vaccins d'urgence. Dès le 25 janvier, la Cepi a débloqué des fonds pour que trois start-up de biotechnologies et des laboratoires en Australie, en France et aux États-Unis développent un candidat-vaccin. Alors que cette étape prend normalement plusieurs années, des formules pourraient être testées chez l'humain dès avril. À l'Institut Pasteur, un candidat-vaccin devrait être prêt pour les essais cliniques cet été. « *Tout va extrêmement vite par rapport aux épidémies qu'on a connues ces dernières années* », constate Frédéric Tangy, chef du laboratoire d'innovation et vaccins de l'Institut Pasteur. Et signe qu'un marché durable est peut-être en train de s'ouvrir, le géant pharmaceutique Sanofi a annoncé s'associer au ministère de la Santé américain pour développer son propre vaccin.

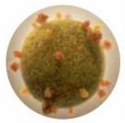
### Un virus peu mortel mais qui se diffuse rapidement

Pourtant, la situation est périlleuse. « *C'est une très grave menace pour le monde* », a alerté mercredi 11 février le directeur général de l'OMS, Tedros Adhanom Ghebreyesus. À l'heure où nous bouclons, 99 % des 80 000 cas confirmés sont en Chine, mais 27 pays ont été touchés, dont la France (12 cas, un décès). Le virus du Covid-19 semble certes peu mortel, avec environ 2 % de décès *(lire ci-contre)*, mais même « *un virus peu agressif peut faire de gros dégâts si beaucoup de gens le contractent* », rappelle le Dr Michael Ryan, directeur du programme d'urgences sanitaires de l'OMS. Or les chiffres sont sous-estimés. Et la dissémination du virus est si rapide que l'épidémie a encore une longueur d'avance. ■

# Ce qui rend un virus dangereux

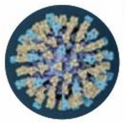
Pour comprendre la complexité de la lutte contre les coronavirus, une comparaison avec d'autres épidémies, comme le VIH, la rougeole ou Ebola, est instructive.

La dangerosité d'un virus dépend de trois facteurs — indépendants les uns des autres. Le premier est le moment à partir duquel le virus provoque les premiers symptômes chez un malade ; le second, le nombre de personnes qu'il infecte ; le dernier, le taux de mortalité induite chez tous les malades. Les autorités sanitaires se battent sur ces trois fronts.



**INCUBATION**
**Le VIH se cache pendant 10 ans**

L'étendue d'une épidémie dépend de la vitesse à laquelle le virus se transmet d'un individu à un autre. Celle-ci dépend essentiellement de deux facteurs : la contagiosité *(voir ci-après)* et le temps durant lequel le pathogène peut passer inaperçu. L'exemple le plus extrême étant le VIH qui déclenche la maladie du sida sept à dix ans après la contamination. À défaut d'un dépistage durant ce laps de temps, le VIH peut être transmis d'individu à individu sans être détecté. Ainsi, même si le VIH n'est pas très infectieux en soi (une étude de 2012 a évalué ce taux moyen à un pour 900 rapports sexuels), c'est cette très longue phase d'incubation qui a permis sa dissémination mondiale. À l'heure actuelle, les chercheurs ignorent si le Sras-CoV-2 se transmet de cette manière « asymptomatique ». Si tel était le cas, la tâche des autorités sanitaires en serait compliquée. Le risque est en effet que ce virus devienne endémique au sein d'une population, humaine ou animale, continuant à se transmettre à bas bruit.



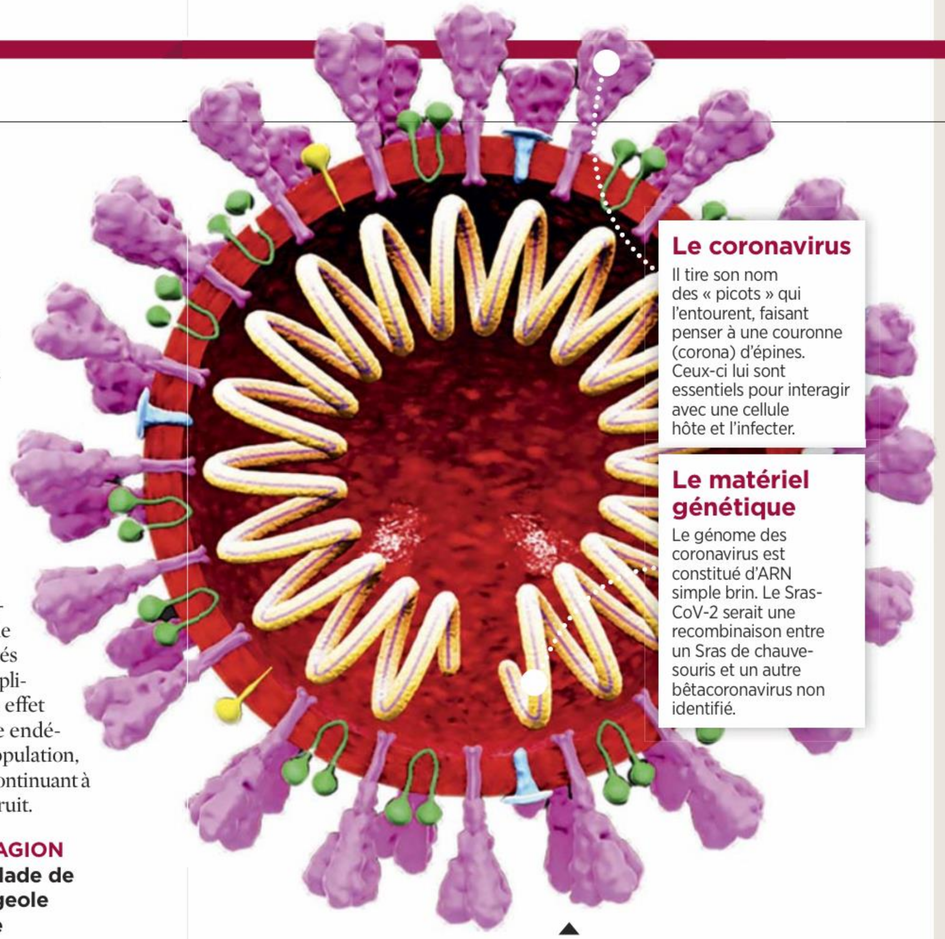
**CONTAGION**
**Un malade de la rougeole infecte 18 personnes**

Combien de personnes le virus Sras-CoV-2 infecte-t-il ? Les spécialistes estiment pour l'heure qu'un patient peut en contaminer trois au maximum. Soit un potentiel infectieux comparable à celui du Sras en 2003 ou de la « grippe espagnole » de 1918. Les coronavirus peuvent voyager dans l'air sur une distance de 2 mètres, contre 30 mètres pour l'un des virus les plus infectieux, le vecteur de la rougeole, une personne pouvant en contaminer 18 autres. Ces données étant toujours susceptibles d'évoluer. Ainsi, en isolant les personnes malades et en recherchant celles ayant été en contact avec elles, il est possible de circonscrire la maladie et de limiter sa propagation. De telles mesures prises durant l'épidémie de Sras en 2003 ont permis de réduire la contagiosité jusqu'à un taux de 0,4 (5 personnes infectées en contaminant deux au maximum), ce qui a permis de stopper l'épidémie. La situation actuelle est cependant très différente puisque la mobilité de la population chinoise est beaucoup plus grande (4 milliards de passagers aériens et ferroviaires en 2019 contre 1 milliard en 2003). Le virus ne peut donc pas être totalement contenu. Surtout le Sras-CoV-2 aurait une affinité avec les cellules humaines 10 fois supérieure à celle du Sras-CoV.

**LEXIQUE**

**SRAS-COV-2 :** coronavirus de la même famille que le Sras-CoV à l'origine de l'épidémie de Sras (syndrome respiratoire aigu sévère, Sars en anglais) de 2003.

**COVID-19 :** désigne la maladie provoquée par le virus Sras-CoV-2. CoVi pour coronavirus ; D pour Disease (maladie en anglais) ; 19 pour 2019, année d'apparition de l'affection. Ce terme a remplacé 2019-nCoV utilisé au début de l'épidémie.



**Le coronavirus**
Il tire son nom des « picots » qui l'entourent, faisant penser à une couronne (corona) d'épines. Ceux-ci lui sont essentiels pour interagir avec une cellule hôte et l'infecter.

**Le matériel génétique**
Le génome des coronavirus est constitué d'ARN simple brin. Le Sras-CoV-2 serait une recombinaison entre un Sras de chauve-souris et un autre bêtacoronavirus non identifié.

**Sras-CoV-2 appartient à une famille de virus** nommée bêtacoronavirus, l'un des 4 genres de coronavirus qui inclut aussi le Sras et le Mers. Ils infectent surtout les chauves-souris mais également les chameaux et les humains.

**LÉTALITÉ**
**Ebola tue jusqu'à 90 % des malades**

Le nombre de personnes tuées par un virus est difficile à établir. Surtout au début de l'épidémie. Seuls les cas les plus graves sont alors détectés, ce qui peut fausser l'évaluation de la létalité du pathogène. D'autant que les personnes plus légèrement atteintes ne consulteront pas toujours un médecin, surtout parmi la population la plus démunie. En première analyse, la mortalité du Sras-Cov-2 est bien moindre que celle des Mers-CoV et Sras-CoV qui tuent respectivement environ 35 % et 10 % des personnes qu'ils infectent. À l'heure actuelle, les deux virus les plus mortels au monde restent Ebola, qui tue entre 26 % et 90 % des patients selon les épidémies, et le H5N1, ou virus de la grippe aviaire, qui n'est que rarement transmissible entre humains mais provoque 59 % de mortalité. ■

**Hervé Ratel**

SCIENTIFICANIMATIONS.VIEW/SCIENTIFICANIMATIONS.COM - PHANIE

OLIVIER SCHWARTZ

**QUESTIONS À**

OLIVIER SCHWARTZ,
DIRECTEUR DU LABORATOIRE VIRUS ET IMMUNITÉ À L'INSTITUT PASTEUR

## « Il pourrait y avoir d'autres foyers épidémiques »

***Combien de temps va durer l'épidémie de Covid-19 ?***
Il y a trop d'incertitude concernant le nombre réel de cas ou même les caractéristiques du virus pour prédire le pic de l'épidémie.
Il y a en particulier une inquiétude pour les pays, limitrophes ou non, qui ont de nombreux échanges avec la Chine et qui n'ont annoncé aucun malade ou très peu. C'est le cas du Laos, de la Birmanie, du Bangladesh ou de plusieurs pays d'Afrique qui n'ont que peu accès aux outils diagnostiques permettant de confirmer des éventuelles infections.
Cette inconnue pourrait cacher de nouveaux foyers épidémiques.

***Les saisons printanières et estivales peuvent-elles donner un coup d'arrêt au virus ?***
Pour plusieurs raisons, les virus respiratoires ont tendance à proliférer plus facilement pendant les saisons froides. C'est ce qui se passe chaque année avec la grippe dite justement saisonnière. Lorsqu'il fait froid, les virus survivent plus longtemps sur les surfaces, on vit plus confiné et plus proches les uns des autres, le système respiratoire est plus accessible aux pathogènes et l'immunité des personnes peut être fragilisée... Autant de facteurs qui facilitent la circulation des pathogènes. Mais seuls les mois qui viennent nous renseigneront sur une éventuelle saisonnalité de l'épidémie Covid-19.

***Ce nouveau coronavirus peut-il muter et devenir plus dangereux ?***
C'est une possibilité et c'est pour cela que son évolution génétique est suivie à la trace. Mais l'intérêt évolutif d'un virus c'est plutôt de s'atténuer pour ne pas tuer ses hôtes. Reste qu'avant le Sras en 2003, les coronavirus n'étaient presque pas étudiés car les quatre autres souches connues, adaptées depuis longtemps à l'homme, provoquaient surtout des rhumes bénins. Après celui du Sras et du Mers, Sras-CoV-2 est le septième coronavirus humain. Et il reste encore très mal connu, malgré la grande rapidité avec laquelle la communauté scientifique travaille. **Propos recueillis par H. J.**

# Des grains plus vieux que le système solaire

Retrouvés dans la météorite de Murchison, ces minuscules agrégats représentent la plus ancienne matière découverte sur Terre.

**Certains des grains présolaires** (cercle) de la météorite de Murchison pourraient provenir d'étoiles évoluées similaires à la nébuleuse de l'Œuf (ci-dessus photographiée par Hubble.)

NASA AND J. N. AVILA

**COSMOCHIMIE** La météorite de Murchison est tombée en Australie en 1969. À l'intérieur, ont été retrouvés des grains présolaires, minuscules agrégats de matériaux qui se sont formés avant que le Soleil ne se mette à briller, il y a 4,6 milliards d'années. Forgées à l'intérieur d'étoiles plus anciennes puis relarguées dans l'espace quand celles-ci ont explosé en supernovae, ces poussières ont ensuite migré dans la nébuleuse qui a donné naissance au Soleil. Elles se sont alors agrégées aux astéroïdes en train de se former autour du Soleil, dont des débris sont retombés sur Terre sous forme de météorites.

Parmi les grains présolaires étudiés par l'équipe de Philippe Heck, de l'université de Chicago (États-Unis), certains font partie des plus vieux spécimens jamais identifiés : leur âge a été évalué à 5,5 milliards d'années ! Ils représentent la plus ancienne matière découverte sur Terre. La plupart sont cependant plus « jeunes ». Datés de -4,6 à -4,9 milliards d'années, ils ont été fabriqués par des étoiles qui brillaient il y a 7 à 9 milliards d'années. **J. I.**

**EN DEUX MOTS**

**ATOMES.** La liaison entre deux atomes métalliques a été filmée pour la première fois par une équipe de physiciens allemands et britanniques. **SUPERCALCULATEUR JEAN-ZAY.** La France se dote d'une machine de 17 pétaflops pour la recherche en intelligence artificielle. **YARRABUBBA.** Ce cratère australien vient d'être daté de -2,229 milliards d'années, soit le plus vieux sur Terre.

## Des nuages étoilés

**ASTROPHYSIQUE** Les astrophysiciens n'avaient jamais vu cela : des objets qui ressemblent à un nuage de gaz mais se comportent comme des étoiles. Les chercheurs de l'université de Californie à Los Angeles (États-Unis) en ont surpris six à proximité du trou noir supermassif de la Voie lactée. La nature de ces « objets G » est encore mystérieuse, mais l'hypothèse la plus probable indique qu'ils proviendraient de la fusion de deux étoiles, entourées de leur enveloppe de gaz, qui formaient auparavant un système binaire. **A. Kh.**

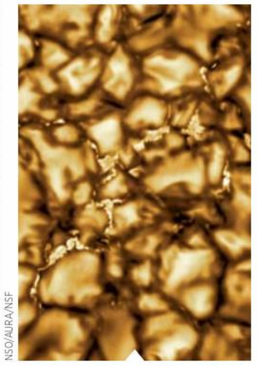
JACK CURLO

◀ **Objet G** (point rouge) près du trou noir de la Galaxie (vue d'artiste).

## Un peu de lumière sur les trous noirs

**ASTROPHYSIQUE** Deux chercheurs, l'un à l'université de Waterloo (Canada) et l'autre à l'Institut Max Planck de Hanovre (Allemagne), sont parvenus à appréhender la surface d'un trou noir grâce aux ondes gravitationnelles. Ils ont analysé les signaux répétitifs survenant dans les heures suivant l'émission de l'onde gravitationnelle du 17 août 2017. Selon leur interprétation, ceux-ci correspondraient à son rebond sur l'horizon du trou noir issu de la fusion des deux astres, et permettraient d'en savoir plus sur la surface de l'astre compact. **A. Kh.**

## Le Soleil comme on ne l'a jamais vu



NSO/AURA/NSF

**La surface solaire** vue par le télescope Daniel-K.-Inouye avec des détails de 30 km.

**ASTRONOMIE** On doit cette époustouflante image non pas à la sonde Parker Solar Probe, qui vient de s'approcher plus près que jamais de notre étoile — à 19 millions de kilomètres — mais au télescope solaire terrestre Daniel-K.-Inouye, qui doit officiellement entrer en service à l'été 2020 à l'observatoire du Haleakala, montagne de l'île hawaïenne de Maui (États-Unis). Avec son miroir de 4 mètres, il est à ce jour le plus grand télescope solaire jamais construit. **M. B.**



## 5 milliards de tours par seconde

### L'objet en rotation le plus rapide du monde

**PHYSIQUE** Des chercheurs de l'université Purdue (États-Unis) sont parvenus à créer l'objet quantique en rotation le plus rapide connu au monde en exploitant la force de poussée de la lumière. Il s'agit d'une nanoparticule de silice en forme d'haltère qui a atteint la vitesse fulgurante de 5 milliards de tours par seconde. Le précédent record datait de 2018 et était détenu par la même équipe avec un rotor cinq fois moins rapide. **M. B.**

## La fusion relancée outre-Manche

**ÉNERGIE** Pour la première fois depuis 23 ans, le JET (Joint European Torus), l'installation pour la fusion nucléaire près d'Oxford (Royaume-Uni), redémarre : il s'agit du plus grand tokamak du monde en attendant que le projet européen Iter à Cadarache (France) soit terminé, officiellement après 2025. En 1997, le JET avait fourni pour la première fois une puissance de 16 mégawatts pendant quelques millisecondes tout en ayant consommé 1,6 fois plus. Depuis il a subi une série de transformations et vise désormais le maintien de la fusion des deux isotopes de l'hydrogène, deutérium et tritium, pendant cinq secondes. **A. Kh.**

EUROFUSION

**Le JET,** au Royaume-Uni, est le plus grand tokamak du monde.

CU BOULDER COLLEGE OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

**Le procédé** permet de réaliser des éléments de formes variées.

## Un béton de sable et de bactéries capable de s'autorépliquer

**MATÉRIAUX** Financés par le ministère américain de la Défense, des scientifiques de l'université du Colorado à Boulder (États-Unis) ont fabriqué un matériau de construction pour le moins étonnant. Il contient des bactéries photosynthétiques qui utilisent la lumière du Soleil et le dioxyde de carbone de l'air pour produire du carbonate de calcium, ingrédient de base du ciment. Ces micro-organismes ont été placés dans un moule où un milieu de culture, de la gélatine et du sable, ont été ajoutés. Tandis que la gélatine sert de support à la croissance des bactéries, le carbonate de calcium produit par celles-ci minéralise l'ensemble. On obtient ainsi des briques dont les propriétés mécaniques sont assez proches de celles du béton. Et comme les bactéries peuvent survivre pendant plusieurs semaines, ces briques « vivantes » sont capables de… s'autorépliquer ! Il suffit en effet de scinder l'une d'elles et d'ajouter de la gélatine et du sable pour que la croissance bactérienne reprenne. **F. D.**

Nous sommes composés de 65% d'eau et de 35 % de questions.

LA MÉTHODE SCIENTIFIQUE
DU LUNDI AU VENDREDI 16H00

NICOLAS MARTIN

franceculture.fr/ @Franceculture

En partenariat avec SCIENCES AVENIR

france culture
L'esprit d'ouverture.

© Radio France/Ch. Abramowitz

## Un tube digestif de plus de 500 millions d'années

**PALÉONTOLOGIE** Les rayons X ont révélé que des cloudinomorphes, fossiles d'organismes tubulaires vivant au fond de l'océan à l'édiacarien (-635/-541 millions d'années) étaient dotés d'un tube digestif, avec une entrée et une sortie, soit une bouche et un anus. Cette innovation évolutive a rendu la consommation de nourriture plus efficace. Les coraux, par exemple, ont une cavité gastrique et un pore unique pour absorber la nourriture et excréter les déchets. **R. M.**

SOURCE : JAMES SCHIFFBAUER, UNIVERSITÉ DU MISSOURI, ÉTATS-UNIS.

PHOTOS : SCHIFFBAUER ET AL.

**Le fossile** (ci-dessus) possède un tube digestif (ci-dessous) mesurant de 2 à 4 mm de diamètre, pour 3,2 cm de long.

JOSEP MARIA VERGES/IPHES

**Cheval gravé** sur une paroi du site de Font Mayor, près de Tarragone. Les représentations animales y voisinent avec des tracés abstraits.

# Une nouvelle grotte ornée en Espagne

Un « sanctuaire » paléolithique comprenant plus d'une centaine d'œuvres pariétales datées d'environ -15 000 ans a été découvert dans une grotte en Catalogne.

**ART PARIÉTAL** Cavalcade de chevaux, de cervidés ou encore de bovidés gravés… Une cavité ornée a été découverte à l'Espluga de Francoli, dans la province de Tarragone, en Catalogne (Espagne). Les parois de la grotte de Font Major — dont le réseau de galeries souterraines connu depuis 1853 est l'un des plus longs du monde — sont ornées d'une centaine de figures d'animaux ainsi que de symboles abstraits, délicatement incisés dans une fragile couche de limon. L'ensemble de ces tracés remonterait au magdalénien (-17 000/-12 000 ans), une époque de grand foisonnement culturel.

Restées dans l'obscurité pendant 15 000 ans, les œuvres sont réapparues à la lueur des lampes torches d'une équipe de préhistoriens le 30 octobre 2019, mais la découverte n'a été officiellement annoncée que le 7 février 2020. En gardant le secret pendant plusieurs semaines, les spécialistes se sont donné le temps de travailler en toute sérénité pour effectuer des relevés 3D des gravures préhistoriques. **B. A.**

## Herculanum : un cerveau sous les décombres

**ANTIQUITÉ** Herculanum, détruite par l'éruption du Vésuve en 79, livre encore des secrets. Dans une boîte crânienne éclatée, des archéologues ont retrouvé ce qui ressemblait à un fragment de verre noir. Analysée par le Centre de biotechnologies de pointe de Naples (CEINGE), la trouvaille s'est révélée être un fragment de cerveau vitrifié ! Ce dernier aurait pu appartenir au gardien d'un lieu de culte dédié à l'empereur Auguste. **H. R.**

AFP

**Les tissus cérébraux** ont été vitrifiés par l'élévation de la température jusqu'à 520 °C.

## -5200 ans

### Les plus vieux grains d'orge et de blé découverts en Asie du Nord

**NÉOLITHIQUE** La date des premières traces d'agriculture dans cette région se voit ainsi repoussée d'un millénaire. Le site archéologique est localisé dans les montagnes de l'Altaï, entre Sibérie, Mongolie et Chine, dans une zone alors plus chaude et humide que de nos jours. **H. R.**

SOURCE : X. ZHOU, INSTITUT DE PALÉONTOLOGIE, PÉKIN, CHINE.

### Une momie retrouve la voix

**ÉGYPTOLOGIE** Des scientifiques britanniques ont réussi à reproduire le son émis par un prêtre et scribe égyptien momifié il y a 3000 ans. Ils ne lui ont pas fait prononcer une phrase mais plutôt une voyelle. Pour cela, les chercheurs ont mesuré de manière précise les dimensions de son tractus vocal grâce à un scanner. Les données obtenues ont permis de réaliser l'impression 3D d'un tractus artificiel. Couplé à un larynx électronique, il a pu produire un son d'outre-tombe. **A.-S. T.**

SOURCE : D. HOWARD, J. SCHOFIELD ET J. FLETCHER, UNIVERSITÉS DE LONDRES ET DE YORK, ROYAUME-UNI.

## Les origines très diversifiées des premiers Américains

**PALÉOGÉNÉTIQUE** **L'analyse morphologique de quatre crânes humains datés de -13 000 à -9000 ans mis au jour dans des grottes submergées de la côte de l'État du Quintana Roo, au Mexique, suggère que les premières populations à s'être aventurées en Amérique du Nord étaient biologiquement plus diversifiées qu'on ne le pensait. Cette diversité aurait ensuite diminué au fur et à mesure que les humains se sont dispersés en Amérique du Sud. B. A.**

## Un lingot d'or du trésor de Cortés resurgit au Mexique

**ARCHÉOLOGIE** L'analyse de la composition chimique d'une barre en or de 2 kg exhumée dans un canal de l'ancienne capitale aztèque Tenochtitlan (Mexico) a permis d'établir qu'elle provenait du mythique trésor d'Hernan Cortés. Durant la *Noche Triste,* en juillet 1520, contraints de fuir devant les habitants révoltés, les soldats du conquistador castillan avaient tenté d'emporter avec eux tout l'or pillé aux Aztèques. **B. A.**

INAH-CANON

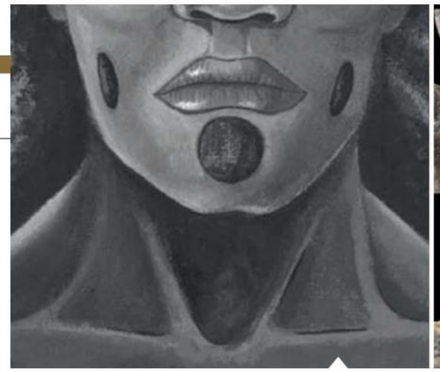
◀ **Des analyses** aux rayons X ont permis d'établir la composition chimique du lingot et de le dater.

## -436,5 millions d'années
## Le plus vieux scorpion

**ZOOLOGIE** ***Parioscorpio venator*** **est sans doute le scorpion le plus ancien connu à ce jour. Il vivait au début du silurien, il y a 437,5 à 436,5 millions d'années et deux fossiles en ont été retrouvés dans le Wisconsin (États-Unis), quasi parfaitement conservés. Ils ressemblent étonnamment aux scorpions modernes avec des pinces, une queue terminée par un dard et un système respiratoire permettant d'évoluer à l'air libre. J. I.**

ANDREW WENDRUFF

**Les fossiles** ont été découverts dans des sédiments marins côtiers dans le Wisconsin, aux États-Unis.



JOHN C. WILLMAN

**Reconstitution** des piercings faciaux du squelette mis au jour en Tanzanie.

## Ces piercings faciaux ont 20 000 ans

**PRÉHISTOIRE** En analysant les surfaces dentaires d'un squelette de la fin du pléistocène découvert en Tanzanie en 1913, l'usure caractéristique du frottement régulier d'une parure de lèvre — un labret — a été détectée. La lèvre mais aussi les joues du chasseur-cueilleur préhistorique avaient été percées pour y placer des ornements. **B. A.**

SOURCE : I. CRÉVECŒUR, PACEA (BORDEAUX), CNRS.

S. BONNEVILLE

QUESTIONS À

## Steeve Bonneville

Enseignant-chercheur à l'Université libre de Bruxelles (Belgique)

## *« Les champignons sont bien plus anciens qu'on ne le pense »*

Selon une nouvelle étude, les champignons sont apparus sur Terre environ 300 millions d'années plus tôt que ce qui était admis par la communauté scientifique jusqu'à présent.

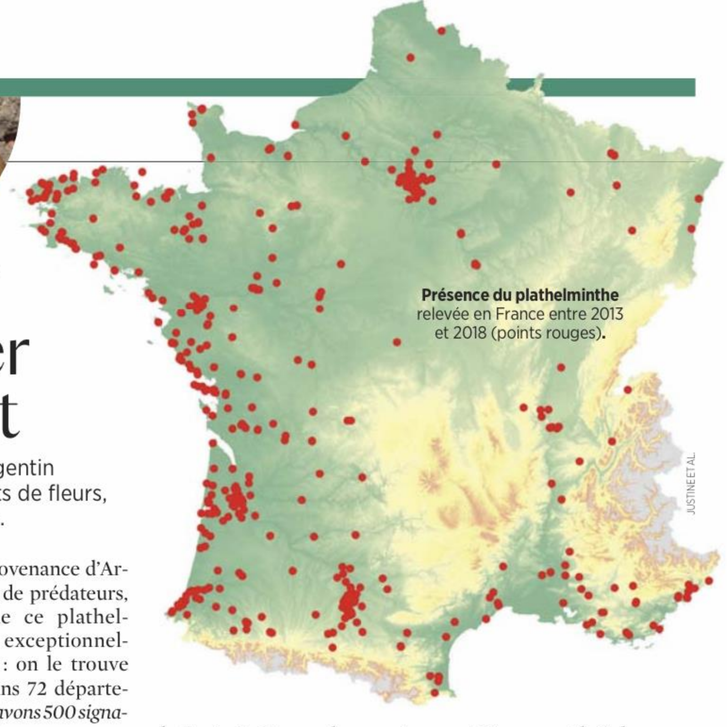
***Comment avez-vous fait pour repérer des filaments de quelques micromètres dans des roches de 800 millions d'années ?***
Les roches que nous avons étudiées avaient été analysées sommairement dans les années 1960. Nous avons soumis ces mêmes échantillons à toute une série d'analyses spectroscopiques et de marquage moléculaire (infrarouge, Raman). Nous avons ainsi déterminé la présence de chitine, une molécule qui nous donne la certitude que nous sommes bien en présence de restes fongiques.

***Que nous apprend cette découverte sur l'histoire évolutive des plantes ?***
Jusqu'à présent, les plus anciens champignons avérés étaient datés de -460 millions d'années, au cambrien où la vie colonise les continents. Nous remontons aujourd'hui de 300 millions d'années. Les roches analysées se sont formées dans un milieu de lagunes de faible profondeur, ce qui nous conforte dans l'idée que la symbiose des champignons avec les plantes a été essentielle pour la conquête des terres. Que s'est-il passé pendant ces 300 millions d'années ? On manque de traces mais on sait que deux glaciations massives à -730 et -650 millions d'années ont pu freiner l'implantation des végétaux et des champignons.

***Quelles sont les prochaines étapes ?***
Avec les mêmes techniques d'investigations, nous allons analyser des roches encore plus anciennes et tenter de déterminer à quelle époque sont apparus les champignons.

**Propos recueillis par L. C.**

**Cette espèce nuisible** se nourrit de lombrics et d'escargots.



**Présence du plathelminthe** relevée en France entre 2013 et 2018 (points rouges).

JUSTINE ET AL.

# Alerte au ver envahissant

« Obama nungara », un ver plat argentin extrêmement vorace venu à bord de pots de fleurs, est en train d'envahir l'Europe.

**GÉODRILOLOGIE** Après le ver à tête de marteau venu de Chine (*lire* S. et A. n° 857, *juillet 2018*), un nouvel envahisseur menace nos écosystèmes et la fertilité de nos sols. Se nourrissant de vers de terre et d'escargots, *Obama nungara* (soit « animal plat comme une feuille » en tupi, une langue amérindienne) a débarqué en France en 2013, caché dans des pots de fleurs en provenance d'Argentine. Faute de prédateurs, l'expansion de ce plathelminthe a été exceptionnellement rapide : on le trouve aujourd'hui dans 72 départements ! « *Nous avons 500 signalements pour* Obama nungara, *qui a déjà envahi une bonne partie de l'Europe*, s'alarme Jean-Lou Justine, du Muséum national d'histoire naturelle de Paris. *La France donc, mais également le Portugal, l'Espagne, le Royaume-Uni, l'Italie, la Suisse, la Belgique. Seule l'Allemagne semble pour le moment mystérieusement lui échapper.* » Si vous en apercevez, vous pouvez le signaler sur un site dédié*. **H. R.**

* sciav.fr/877Ver

PIERRE GROS

## 7 ans d'immobilité pour la salamandre

**ZOOLOGIE** C'est le temps passé par une salamandre blanche (*Proteus anguinus*) exactement au même endroit, dans une grotte de Bosnie-Herzégovine. Les chercheurs supposent que l'inactivité de ces amphibiens est due à leur rythme de vie. Ils peuvent jeûner pendant des années et ne se reproduisent que tous les douze ans, ce qui fait bien d'eux des centenaires. **A.-S. T.**

## Le bio plus riche en antioxydants... grâce aux attaques des insectes

**ALIMENTATION** Les fruits blessés par les insectes sont plus riches en antioxydants, montre une expérience texane. Les chercheurs ont perforé des feuilles de fraisiers, et mesuré que cela déclenchait alors la libération de ces composés actifs utilisés par la plante pour sa défense. Ce résultat conforte les études suggérant que le bio est plus riche en phyto-nutriments bénéfiques pour leurs consommateurs. **R. M.**

LUIS CENEROS-ZEVALLAS

**La perforation de feuilles** de fraisiers déclenche une réaction de défense.

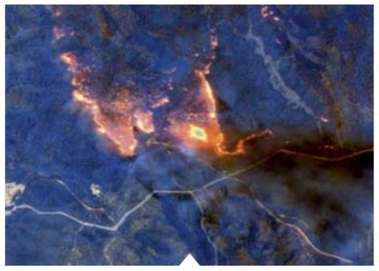
SOURCE : FACUNDO IBANEZ, TEXAS A&M UNIVERSITY, ÉTATS-UNIS.

## La truffe fait le vide

**MYCOLOGIE** On sait désormais pourquoi, au pied des chênes et noisetiers où vivent *Tuber melanosporum* et *aestivum*, les plantes dépérissent, formant des « brûlés ». *« Grâce à l'empreinte génétique et à des marqueurs fluorescents, nous avons montré la présence des filaments du champignon (les hyphes) entre les cellules racinaires de plantes poussant près de l'arbre »,* expose Marc-André Selosse, chercheur au Muséum national d'histoire naturelle. Si elles ne meurent pas, les plantes colonisées sont affaiblies car leur azote et leur phosphate sont pompés. **L. C.**

## Un bilan des feux australiens

**ENVIRONNEMENT** Les grands feux de l'été australien ont émis 400 millions de tonnes de $CO_2$, soit presque autant que les 445 millions de tonnes émises par les Français en 2018. Mais cela ne représente qu'un tiers des quantités attribuables aux exportations australiennes de charbon dans le monde, selon l'auteure de l'étude, l'ONG Carbon Tracker. En Australie, les observations montrent que la sévérité et la durée des mégafeux ont augmenté lors des dernières décennies. **L. C.**



AFP

**Les mégafeux de l'été australien** ont dégagé presque autant de $CO_2$ que la France en une année. Ici, vue satellite de la région d'Orbost en janvier.



Carrefour

DES ACTIONS CONCRÈTES
ACT FOR FOOD
POUR MIEUX MANGER

BONNE NOUVELLE,

AVEC LA TRANSITION ALIMENTAIRE,

*les jeunes pourront dire à leurs parents*

QU'ILS MANGENT MIEUX AUJOURD'HUI QU'HIER.

Depuis 2018, nous sommes au cœur de la transition alimentaire.

Il est possible que vous vous demandiez en quoi cela consiste précisément.

La transition alimentaire, c'est transformer en profondeur notre système alimentaire : de la production à la consommation. Changer le système pour que l'alimentation soit à la fois meilleure pour notre santé, meilleure pour nos agriculteurs et meilleure pour notre planète.

Et c'est bien sûr faire en sorte que tout cela soit accessible au plus grand nombre.

Pour nous, c'est un enjeu collectif qui mobilise l'ensemble de nos équipes chez Carrefour ainsi que tous nos partenaires.

Depuis 2018, 1 200 produits Carrefour ont été retravaillés et 900 le seront en 2020. Les premiers résultats sont encourageants et c'est une bonne raison de ne pas s'arrêter là. Nous voulons transmettre aux générations futures un monde meilleur.

Car pour eux, manger bio, français, sans antibiotiques, sans OGM ou substances controversées ne devrait pas être exceptionnel mais juste normal.

Et quand ce jour arrivera, nous aurons réussi la transition alimentaire.

CARREFOUR.FR

Carrefour Hypermarchés SAS au capital de 6 922 200 euros - Siège social : 1, rue Jean-Mermoz – ZAE Saint-Guénault - 91002 ÉVRY - 451 321 335 RCS ÉVRY.

## Des baleines massives mais furtives

**CÉTOLOGIE** Comment échapper aux orques quand on est moins rapide qu'un phoque et qu'on fait la taille d'un éléphant ? En plongeant puis en remontant dans le silence le plus complet entre la surface et 500 m de profondeur, là où évoluent les prédateurs. Telle est la stratégie des baleines à dents, qui ne communiquent par clics et ne déclenchent leur système d'écholocation des proies que lorsqu'elles sont en sécurité. Elles ont certes 35 % de temps de chasse en moins que d'autres espèces mais leur synchronisation en améliore l'efficacité. **R. M.**

SOURCE : NATACHA AGUILAR DE SOTO, UNIVERSITÉ DE LAGUNA, TENERIFE, ESPAGNE.

ALEX WILD

**Le parasite** (en brun-rouge) se dissémine en s'accrochant aux insectes.

## Des abeilles équipées contre le varroa

**ENTOMOLOGIE** Les attaques du varroa, un acarien qui ravage les ruches, ont été réduites chez des abeilles dotées d'une bactérie ciblant le parasite, rapportent des chercheurs de l'université du Texas à Austin (États-Unis). Cette bactérie intestinale a été génétiquement modifiée pour produire un ARN interférant avec des séquences d'ARN indispensables à la production de certaines protéines par le varroa. Cette bactérie anti-varroa peut se transmettre aux autres abeilles de la ruche. *(Lire aussi p. 74.)* **P. K.**

## Des papillons héritent des goûts acquis par leurs parents

**ENTOMOLOGIE** Si des chenilles ou des papillons de l'espèce *Bicyclus anynana* sont exposés de façon précoce à de nouvelles senteurs — la première lors de son éclosion, le second à sa sortie de la chrysalide — ils développeront de nouvelles préférences. De surcroît, leur descendance respective partagera leurs nouveaux goûts olfactifs, même si elle n'a jamais été en présence de ces fragrances au cours de son développement. Un exemple inattendu de transmission de caractères acquis. **R. M.**

SOURCE : ÉMILIE DION, UNIVERSITÉ NATIONALE DE SINGAPOUR.

## En Colombie, la menace des hippopotames d'Escobar

**BIODIVERSITÉ** Après la mort du narcotrafiquant colombien Pablo Escobar en 1993, les quatre hippopotames importés d'Afrique pour son zoo privé se sont échappés de son hacienda abandonnée, formant une population sauvage de près de 80 individus. Une étude publiée dans la revue *Ecology* révèle qu'en déféquant dans l'eau des lacs, ils en ont modifié la composition chimique, favorisant ainsi la croissance d'algues et de bactéries nocives. Pour l'heure, rien n'a été décidé pour freiner cette invasion. **A. S.-T.** SOURCE : A. NEU, A. PEDROZA RAMOS, UNIVERSITÉ DE COLOMBIE, TUNJA.

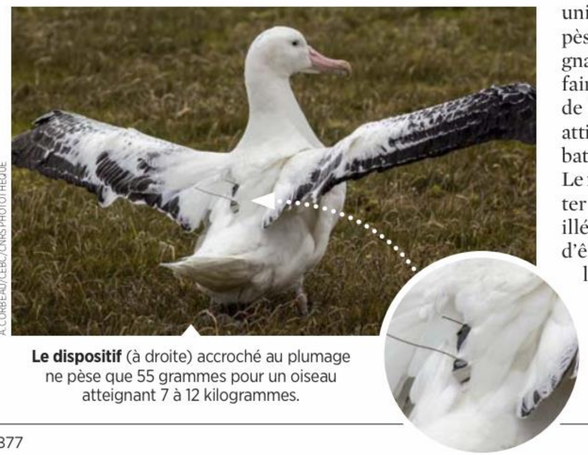
AFP

# Des albatros repèrent la pêche illégale

169 de ces oiseaux, attirés par les cargaisons, ont été dotés d'une balise signalant les navires clandestins.

**OCÉANOLOGIE** Comment détecter les bateaux de pêche illégaux qui se livrent au braconnage dans l'immense océan Antarctique ? En équipant les albatros d'un système radar ! Telle est l'idée mise en œuvre par des chercheurs de du Centre d'études biologiques (CNRS) de Chizé (Deux-Sèvres). Associés à l'administration des Terres australes et antarctiques françaises (TAAF), ces spécialistes de la faune polaire ont attaché sur les plumes du dos de 169 albatros une balise Argos et un détecteur radar miniature unique au monde. L'ensemble pèse 55 g pour un oiseau atteignant 7 à 12 kg. Il a fallu ensuite faire confiance à la curiosité de l'animal, connu pour être attiré par le poisson à bord des bateaux.

Le radar a ainsi permis de détecter 28,6 % de navires pêchant illégalement qui, pour éviter d'être repérés, avaient éteint leur système d'identification automatique (AIS). Pour la première fois, on a donc une idée du braconnage de légines, le poisson capturé dans ces eaux. **L. C.**



A. CORBEAU/CEBC/CNRS PHOTOTHÈQUE

**Le dispositif** (à droite) accroché au plumage ne pèse que 55 grammes pour un oiseau atteignant 7 à 12 kilogrammes.



Carrefour

DES ACTIONS CONCRÈTES
ACT FOR FOOD
POUR MIEUX MANGER

LA PREMIÈRE FOIS

QU'ELLE ENTENDRA PARLER

d'antibiotiques, ce sera chez le médecin

ET PAS DANS SON POULET.

Poulet jaune d'Auvergne
Label Rouge
Filière Qualité Carrefour

✓ ÉLEVÉ EN PLEIN AIR
✓ SANS TRAITEMENT ANTIBIOTIQUE
✓ NOURRI SANS OGM* AUX CÉRÉALES ET SOJA FRANÇAIS

6,19 € le kg

* OGM < 0,9%

CARREFOUR.FR

Prix valable jusqu'au 30 avril 2020 dans les hypermarchés Carrefour et supermarchés Carrefour Market participants. Plus d'informations sur carrefour.fr

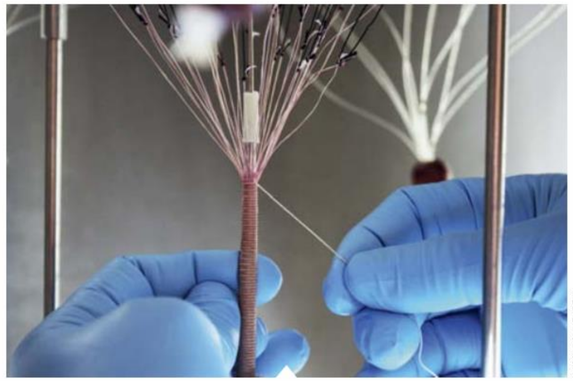
POUR VOTRE SANTÉ, MANGEZ AU MOINS CINQ FRUITS ET LÉGUMES PAR JOUR. WWW.MANGERBOUGER.FR

Carrefour Hypermarchés SAS au capital de 6 922 200 euros - Siège social : 1, rue Jean-Mermoz – ZAE Saint-Guénault - 91002 ÉVRY - 451 321 335 RCS ÉVRY.

# Un métier à tisser des patchs cellulaires

Des fils riches en collagène sont assemblés pour former des patchs cellulaires qui pourront servir à cautériser des vaisseaux sanguins endommagés, notamment par des maladies cardio-vasculaires.

**BIOLOGIE** Des « textiles biologiques » pour cautériser les vaisseaux sanguins endommagés ont été mis au point par des chercheurs français conduits par Nicolas L'Heureux, au sein de leur unité Bio ingénierie tissulaire (Inserm/université de Bordeaux). Première étape : les chercheurs ont cultivé en laboratoire un certain type de cellules humaines, des fibroblastes. Ces cellules servent habituellement d'échafaudage à nombre de nos organes car elles sont riches en collagène, une protéine structurale. Puis ils ont édifié des feuillets de collagène extra-fins. Ces derniers ont ensuite été découpés pour former des fils. Il ne restait plus qu'à tisser, tricoter ou tresser ces derniers pour former des patchs cellulaires. Il faudra encore de nombreuses années pour que ce travail, au stade fondamental, puisse être appliqué à l'être humain. Avec plus de 17 millions de morts par an, les maladies cardio-vasculaires sont la première cause de mortalité mondiale, selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS). **H. R.**



NICOLAS L'HEUREUX

**Fabriqués à partir de cellules humaines,** les fibroblastes, les fils sont tissés sur un métier circulaire pour former un patch.

*« Ecouter de la musique à un tempo élevé pendant l'exercice entraîne une augmentation de la fréquence cardiaque et l'effort perçu est plus faible »*

**Luca Ardigo,** psychologue à l'université e-Campus de Novedrate (Italie), coauteur d'une étude sur l'influence de l'écoute d'une musique pendant la pratique d'un sport.

## Des millions de mitochondries intactes dans notre sang

**BIOLOGIE** Les mitochondries sont d'ordinaire retrouvées à l'intérieur de nos cellules, dont elles constituent les « batteries », ou morcelées dans notre sang pour activer certains processus immunitaires comme l'inflammation. Pourtant, pour la première fois et grâce à des techniques de détection de pointe, des chercheurs français en ont repéré jusqu'à 3,7 millions par millilitre de sang, parfaitement intactes et fonctionnelles. Elles pourraient jouer un rôle de communication et de réparation entre les tissus. **C. G.**

SOURCE : ZAHRA AL AMIR DACHE, INSERM.

ALAIN R. THIERRY/INSERM

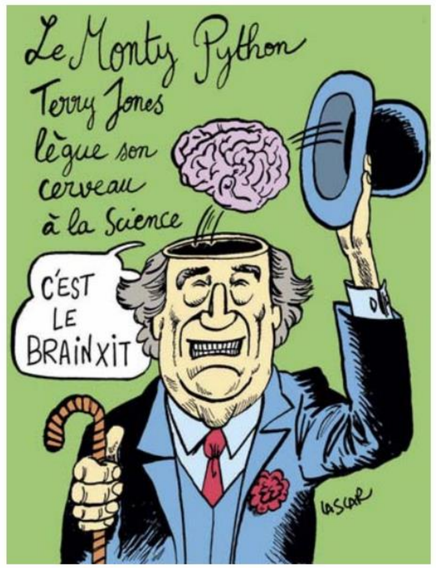
**◀ Mitochondries extracellulaires** fonctionnelles dans le sang vues au microscope électronique.

## Une injection contre la perte d'audition

**OTOLOGIE** En inactivant des récepteurs dans les oreilles de souris, des chercheurs sont parvenus à les protéger de sons trop violents. Ces derniers provoquent en effet une surproduction de glutamate par les cellules de la cochlée. Cet afflux se répercute alors aux neurones du cerveau, ce qui les endommage et provoque la perte d'audition. Avantage de la méthode : elle préserve la qualité d'écoute. **C. G.**

SOURCE : NING HU, UNIVERSITÉ DE L'IOWA, ÉTATS-UNIS.

## L'œil de Lascar




**UN DON D'UNE RARE GÉNÉROSITÉ :** l'University College de Londres a souligné le geste de l'ancien Monty Python Terry Jones. Mort le 21 janvier, il a légué son cerveau à la science. Son étude permettrait d'en savoir davantage sur la forme rare de démence dont il était atteint, l'aphasie primaire progressive. **O. L.**



Rivages du Monde

Croisière
SPITZBERG
Vers le Grand Nord norvégien

LES POINTS FORTS
- **Passage du cercle polaire arctique**
- **Archipel des îles Lofoten,** ses vestiges vikings et ses colonies d'oiseaux rares
- **Navigation dans la Baie de la Madeleine** au cœur des glaciers et icebergs, paradis de la faune polaire
- **Cap Nord et soleil de minuit**
- **8 conférences d'experts**
- **Croisière francophone :** Directeur de croisière, conférences, excursions...
- **A la meilleure période** de l'année

A bord du magnifique
**M/S ASTORIA**

**Récemment rénové,** cet élégant paquebot d'inspiration Art déco est **un navire à taille humaine,** qui offre **chaleur** et **convivialité.**

DEMANDE DE DOCUMENTATION **GRATUITE**

☑ **Je souhaite plus d'information sur la croisière SPITZBERG de Rivages du Monde**
- **Par courrier** à Rivages du Monde - 19 rue du 4 septembre - 75002 Paris
- **Par e-mail** à info@rivagesdumonde.fr
- **Par téléphone** au 01 58 36 08 36

**SANS ENGAGEMENT DE VOTRE PART**

**MES COORDONNÉES** M. ☐ MME. ☐ **VOUS VOYAGEZ** EN COUPLE ☐ SEUL(E) ☐ ENTRE AMIS ☐

NOM PRÉNOM
ADRESSE
CODE POSTAL VILLE PAYS
COURRIEL TÉLÉPHONE

☐ J'accepte de recevoir des informations et offres commerciales de Rivages du Monde par voie electronique

Mentions CNIL : Ces informations sont enregistrées dans le fichier Rivages du Monde pour traiter votre demande de brochures et/ou votre commande. Conformément à la loi « Informatique et Libertés » du 6 /01/78 modifiée et au RGPD du 27/04/16, elles peuvent donner lieu à l'exercice du droit d'accès et de rectification à l'adresse suivante : Rivages du Monde 19 rue du Quatre-Septembre, 75002 Paris. Notre Politique de Confidentialité est disponible sur le site : www.rivagesdumonde.fr. Vos données postales sont susceptibles d'être transmises à nos partenaires commerciaux, si vous ne le souhaitez pas, cochez cette case ☐.

SASU Rivages du Monde - RCS Paris B 438 679 664 - Immatriculation Atout France : IM075100099 - RCP Hiscox N° police : HARCP0087439 - Garantie financière : GROUPAMA-ASSURANCES CRÉDIT N° police : 4000713765/2. Immatriculé à l'ORIAS dans la catégorie Mandataire d'intermédiaire d'assurance (MIA) sous le N° 19003053 - www.orias.fr. Crédit photo Getty.

SCAVE02

P. KANNOUCHE

QUESTIONS À

## Patricia Kannouche

Responsable de l'unité de recherche Stabilité génétique et oncogenèse à l'institut Gustave-Roussy de Villejuif

# « Des dizaines de nouvelles mutations génétiques du cancer identifiées »

Le plus grand projet d'analyse de génomes de tumeurs jamais réalisé à ce jour a abouti à la publication de 23 études dans la revue *Nature*. Une étape majeure pour comprendre la génétique des cancers.

***Quelle est la portée des résultats du Pan Cancer Project ?***
Ce travail nous livre un atlas presque complet des mutations génétiques à l'œuvre dans les processus cancéreux. 2600 génomes de 38 types de cancers ont pu être comparés à des tissus sains. Cela permet d'identifier des dizaines de nouvelles mutations génétiques impliquées dans la dérive cancéreuse de nos cellules. Les arbres phylogénétiques des tumeurs permettent ainsi d'établir une chronologie de l'évolution tumorale.

***À quoi cela sert-il ?***
Le cancer est un processus évolutif au cours duquel des cellules acquièrent des mutations génétiques qui vont les conduire à évoluer en cellules cancéreuses. Les nouvelles thérapies sont conçues pour cibler les cellules porteuses de telle ou telle mutation. Ainsi, nous connaissons plus de 80 « signatures mutationnelles » du cancer, contre une trentaine avant ! C'est une étape majeure.

***Comment exploiter ces données fondamentales ?***
Déjà, les résultats publiés donnent à la recherche de la matière à exploiter pour les dix ou vingt prochaines années, au moins. Mais il faut encore recouper ces données génétiques avec l'information clinique correspondante : analyses biologiques et réponse des patients à tel ou tel traitement. Le but étant de déterminer quelle stratégie thérapeutique est la mieux adaptée en fonction du profil génétique de la tumeur. **Propos recueillis par H. J.**

RAYAN VAN NEVEL/PRINCESS MAXIMA CENTER

**Ces mini-glandes** de venin ont été fabriquées en laboratoire.

## Des organoïdes producteurs de venin

**TOXICOLOGIE** Afin de disposer plus facilement de venin de serpents pour fabriquer des antidotes aux morsures et des anticoagulants, des chercheurs de l'Institut Hubrecht (Utrecht, Pays-Bas) ont mis au point des organoïdes spéciaux. Soit des répliques cellulaires miniatures de glandes à venin cultivées en laboratoire et pouvant être conservées indéfiniment. Une recherche qui pourrait être étendue à d'autres glandes d'animaux venimeux. **H. R.**

## Comment bien se réveiller

**PHYSIOLOGIE** La personne semble réveillée mais elle est désorientée, a des difficultés à se mouvoir et souffre de troubles de la mémoire plusieurs heures après son réveil. Pour lutter contre cette « inertie du sommeil », mieux vaut choisir un réveil diffusant une mélodie — une chanson par exemple — plutôt qu'un son cacophonique et dissonant. C'est du moins ce qu'affirme des chercheurs australiens de l'Institut royal de technologie de Melbourne, qui a mené une enquête auprès de 50 participants. **H. R.**

## Le foot nuit à la santé

**NEUROLOGIE** **Pratiquer des têtes en football est-il dangereux pour la santé ? Le soupçon vient de se voir confirmé par une étude américaine montrant que la pratique nuit aux fonctions neuro-ophtalmologiques des joueurs. Certains pays comme l'Écosse ont pris la décision de limiter le jeu de tête chez les jeunes pratiquants. L'UEFA, qui régule le jeu au niveau européen, va-t-elle suivre ces préconisations ?** **H. R.**

SOURCE : KEISUKE KAWATA, INDIANA UNIVERSITY, BLOOMINGTON, ÉTATS-UNIS.

JUAN BARRETO/AFP

**Le jeu de tête** porte atteinte aux fonctions neuro-ophtalmologiques.


MARK SCHIEFELBEIN/AFP/SIPA

**Ces médicaments sont largement prescrits** outre-Atlantique pour les douleurs chroniques.

## La crise des opioïdes aux États-Unis est plus mortelle que prévu

**ÉPIDÉMIOLOGIE** 142 000 : c'est la nouvelle estimation du nombre de morts par opioïdes aux États-Unis pour 2016, ces médicaments étant largement prescrits outre-Atlantique pour traiter les patients souffrant de douleurs chroniques. Soit deux fois plus que la précédente estimation. Pour ce nouveau calcul, les chercheurs ont analysé plus de 44 millions de certificats de décès sur dix-huit ans. Outre les overdoses, ils ont comptabilisé tous les désordres et pathologies mentaux et physiques mortels engendrés par l'abus de ces traitements addictifs (hépatites, suicides, sida, etc.). Comme l'a dit Samuel Preston, l'un des coauteurs de l'étude issu de l'université de Pennsylvanie : *« Cette drogue peut tuer de bien des façons. »* Pour les 15-64 ans, la part des opioïdes dans les décès s'élève à près de 10 %. Elle atteint des records en Virginie-Occidentale avec 39 % chez les hommes et 27 % chez les femmes. **H. R.**

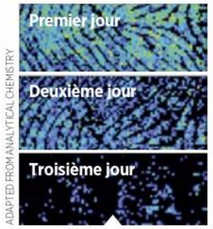


Sur une proposition du ministre de la ville et du logement, le gouvernement et Action Logement acteur prioritaire de référence du logement social, proposent un beau cadeau aux français de plus de 70 ans.
Constatant que l'âge venant, la chute dans la salle de bains est très dangereuse, Action Logement propose, pour diminuer ce risque, de prendre en charge jusqu'à 5.000€ par foyer* pour la rénovation de la salle de bains.
Un vrai cadeau.

Avec Kinemagic
évitons les chutes

Tel : 0800 05 06 07. (appel gratuit) I kinemagic.fr
Adresse : Kinedo. 9 rue de Rouans. 44680 Chaumes-en-Retz

(*) sous réserve de certaines conditions




ADAPTED FROM ANALYTICAL CHEMISTRY

**Les triglycérides** composant les empreintes se dégradent rapidement.

## Dater les empreintes digitales

**CRIMINALISTIQUE**

Selon des chercheurs de l'université d'Iowa (États-Unis), on peut dater une empreinte digitale en analysant la dégradation des triglycérides qui la composent. Ceci afin de vérifier si elle a été déposée ou non à l'heure du crime. Une information qui, sans constituer une preuve formelle, pourrait faire avancer les enquêtes. **O. H.**

DENIS SHIRYAEV

**« L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat »** (1895), passée à la résolution 4K, a un rendu très réaliste et fluide.

# Un film de Louis Lumière retravaillé avec l'IA

La technique des réseaux génératifs antagonistes a permis à des algorithmes d'augmenter la résolution et de limiter les saccades de l'image.

**NUMÉRIQUE** *L'Arrivée d'un train en gare de La Ciotat*, séquence de 50 secondes tournée en 1895 par Louis Lumière, a fait l'objet d'une manipulation expérimentale inédite. En s'aidant de l'intelligence artificielle, Denis Shiryaev, un développeur informatique russe, est parvenu à augmenter la résolution de l'image en 4K (très haute définition), soit 4096 pixels de large au minimum, et à appliquer une vitesse de défilement de 60 images par seconde, contre 16 à 18 en 1895. Pour ce faire, Denis Shiryaev a utilisé la technique des réseaux génératifs antagonistes (GAN) dont le principe consiste à faire collaborer deux algorithmes. Le premier a généré des images inédites en analysant celles qui se situaient juste avant et après l'endroit où il souhaitait les insérer. Une opération qui avait pour but de limiter les saccades typiques des films anciens. Un second algorithme a ajouté des pixels aux images originelles pour en gommer le grain typique du celluloïd et en augmenter ainsi la résolution. Le résultat est saisissant : un défilement très fluide et une texture étonnamment contemporaine, même si des imperfections subsistent. **A. D.**

DISNEY

À VOIR SUR LE NET

## Un Spider-Man androïde roi de la voltige

**ROBOTIQUE** Cet été, le parc d'attractions Disney California Adventure d'Anaheim, aux États-Unis, présentera un robot cascadeur costumé en Spider-Man. Ce projet, mené par la division R&D de Disney, a abouti à une première vidéo de démonstration. Aidé de capteurs, de vision par ordinateur, de télémètres lasers et d'accéléromètres, l'androïde se révèle un as de la voltige aérienne. **A. D.** sciav.fr/877spiderman

## Quand les robots ont les mains moites

**BIONIQUE** Les robots, constitués de circuits électriques et électroniques, ont l'inconvénient de chauffer et donc de nécessiter la pose de ventilateurs. Pour simplifier le refroidissement, des chercheurs de l'université Cornell (États-Unis) ont fabriqué une main dotée de doigts mous obtenus par impression 3D de deux couches d'hydrogel. À partir de 30 °C, la couche interne se contracte et éjecte l'eau qu'elle contient. Celle-ci s'échappe alors par de micropores de la couche externe et refroidit la main comme le fait la transpiration. **A. D.**

MISHRA ET AL

► **Fabriquée à base d'hydrogel,** la « main » régule sa température.

## Une couche connectée

**HYGIÈNE** *« Il faut changer bébé. »* Voilà le type de notification que les jeunes parents pourront bientôt recevoir sur leurs smartphones. Des chercheurs du MIT (Cambridge, États-Unis) ont en effet développé une couche intelligente équipée d'un capteur d'humidité et d'une antenne RFID. Quand le change est mouillé, l'antenne transmet un message radio à un récepteur installé à proximité de l'enfant. L'information est alors envoyée sur le téléphone des parents *via* le réseau mobile. Ce dispositif connecté, encore à l'étude, pourrait aussi être utilisée chez les adultes dépendants. **O. H.**

EN VENTE ACTUELLEMENT

## Des capteurs pour suivre la santé des animaux à distance

**MÉDECINE VÉTÉRINAIRE** Comment surveiller l'état de santé des animaux dans un parc sans les stresser par des analyses médicales superflues ? Grâce à une caméra haute résolution munie de capteurs pour décrypter mouvements et constantes physiologiques. L'expérience, menée au zoo d'Adélaïde (Australie) sur neuf animaux, dont un tigre, un kangourou et un manchot, est concluante. Trois minutes de captation à 40 mètres de distance suffisent notamment à déceler les plus infimes variations cardiaques. **H. R.**

## 5 volts — La tension électrique produite par microfluidique

**ÉNERGIE** L'expérience a été menée par des chercheurs japonais en faisant circuler des gouttelettes d'eau dans un dispositif microfluidique. Publiée dans la revue *Nano Energy*, elle pourrait permettre de développer des capteurs d'humidité capables de fournir de l'électricité à partir de pluies ou de chutes d'eau. **H. R.**

CRUISE/ORIGIN

**De la taille d'un monospace,** l'Origin, destiné à l'autopartage, pourra transporter six personnes (illustration).

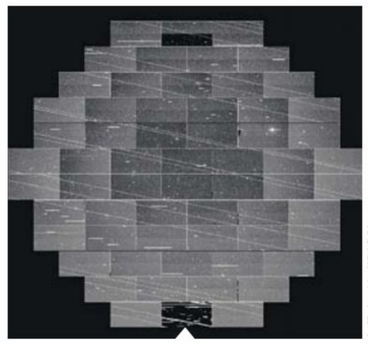
## Le premier taxi autonome, sans volant ni pédales

**TRANSPORTS** Ni volant, ni pédales, ni rétroviseurs. L'Origin est un SUV sans chauffeur qui ne permet en aucun cas à ses occupants de reprendre la main. Conçu par la société Cruise, dans laquelle General Motors et Honda ont investi, le véhicule a un profil symétrique, sans avant ni arrière. Dans l'habitacle, deux banquettes se font face et des écrans affichent l'itinéraire. L'Origin est destiné à l'autopartage mais il n'a pas encore été testé sur route. **A. D.**

# Avis de pollution lumineuse en orbite basse

Les traînées lumineuses provoquées par les centaines de satellites de la constellation Starlink alarment les astronomes.

**POLLUTION LUMINEUSE** La constellation Starlink de la société américaine SpaceX fondée par Elon Musk, ne cesse d'inquiéter. Destiné à fournir un accès Internet haut débit à la planète entière, ce réseau comporte déjà 242 satellites. Près de 1600 satellites supplémentaires devraient être mis en orbite d'ici à la fin de l'année. En tout ce sont au minimum 12 000 satellites Starlink qui sont prévus en orbite basse, rejoignant les 1500 satellites en service actuellement. Outre les risques d'encombrement et de collisions, c'est aujourd'hui la pollution lumineuse qui alarme les astronomes. Lancés par grappes de soixante, ces engins strient en effet les observations de traînées lumineuses dans les jours qui suivent leur lancement. SpaceX a tenté de répondre à la controverse en testant fin janvier Darksat, un satellite doté d'une face peinte en noir. Un échec, puisque Darksat est apparu aussi clairement sur les images que les 59 autres... Début janvier, l'American Astronomical Society s'est émue du sort du futur observatoire Vera Rubin, dont le grand télescope doit étudier à partir de 2022 les astres les moins lumineux et dont les observations risquent fort d'être inexploitables. **S. R.**



CLIFF JOHNSON/CTIO/DECAM

**Les traînées lumineuses** des satellites de Starlink vues par la Dark Energy Camera (DECam) de l'observatoire CTIO au Chili (image composite).



STEFAN WEISS/ETH ZURICH

**Les demi-sphères émettent des ondes sonores** qui piègent les billes.

## Léviter sans toucher

**ACOUSTIQUE** Manipuler des objets sans même les toucher ? Cela devient possible grâce à la lévitation acoustique. Ce projet est développé à l'École polytechnique fédérale de Zurich (Suisse). Le principe : deux haut-parleurs en forme de demi-sphères face à face qui émettent chacun une onde sonore. Cela engendre deux pressions acoustiques qui s'opposent et piègent un objet qui semble alors flotter. Cette technologie pourrait intéresser la haute horlogerie suisse qui utilise des pièces de très petites tailles et particulièrement fragiles. **O. H.**



Les voyages du SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

DOLMENS ET MENHIRS DE CARNAC

En compagnie d'Yves Coppens (*)

27 au 30 septembre 2020

YVES COPPENS
Paléontologue, professeur au Collège de France

« **J'ai 100.000 tonnes de granit sur les bras** ». Yves Coppens s'amuse du nouveau rôle qu'il a accepté d'endosser, celui de « champion » de l'inscription des alignements de Carnac au patrimoine mondial de l'Unesco. Car le site du Morbihan, en Bretagne, n'y est toujours pas : sacrée injustice quand on pense à un autre lieu célèbre pour ses mégalithes, Stonehenge, en Angleterre, honoré du précieux label depuis... 1986 ! Il explique ce que les dolmens, menhirs, cairns et autres alignements de Carnac auraient à bénéficier de cette inscription au patrimoine mondial de l'Unesco, pourquoi ce site est «sacré» et le rôle historique joué par la Bretagne - chère à son cœur... - dans l'histoire du mégalithisme.

**C'est à la découverte de ces « cailloux » extraordinaires sur les rivages du golfe du Morbihan qu'Yves Coppens invite les lecteurs de Sciences et Avenir !**

Retrouvez l'entretien complet d'Yves Coppens avec Dominique Leglu sur le site web de Sciences et Avenir : bit.ly/2tFuekq

AVEC LA PARTICIPATION DE :

BERNADETTE ARNAUD
Grand Reporter à Sciences et Avenir

© Laurent Ramsay

EMMANUELLE VIGIER
Archéologue, directrice du Musée de Préhistoire de Carnac

MARC SAUGIER
Organisateur des Voyages du Savoir

Carnac :
Le musée de Préhistoire

- 3 nuits / 4 jours en pension complète
- Prix par personne en chambre double : 975 €
- Début & fin du séjour à Auray (Morbihan)

(*) Sauf empêchement pour cas de force majeure

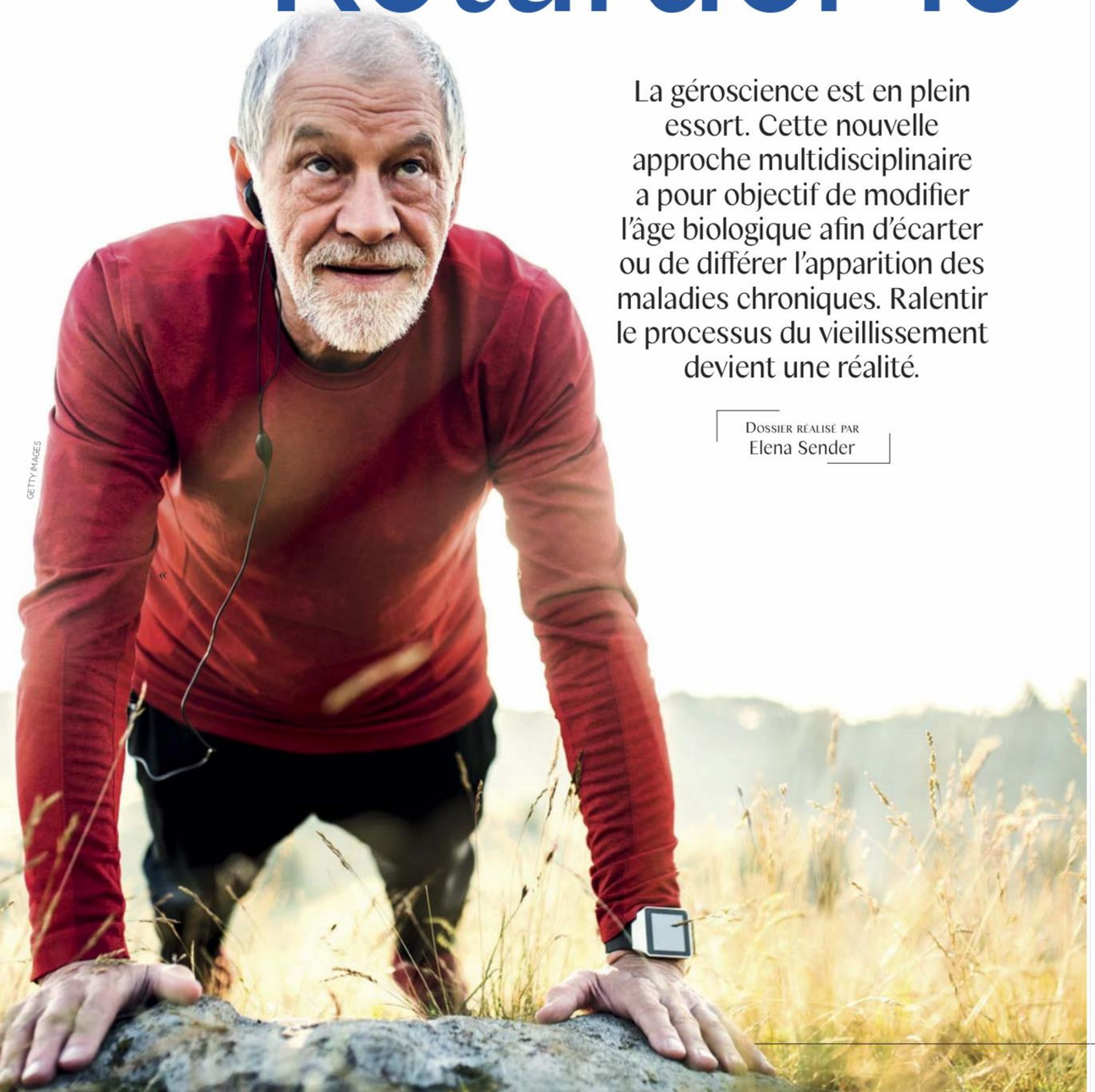
IM056130002

BLB TOURISME

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : BLB TOURISME
ZONE DE KERBOIS 15, RUE YVES DE KERGUELEN 56400 AURAY
- COURRIEL : inscription@blb-tourisme.com - Tél. +33 (0) 297 566 086

Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : voyages-du-savoir.fr

# Retarder le vieillissement



GETTY IMAGES

La géroscience est en plein essort. Cette nouvelle approche multidisciplinaire a pour objectif de modifier l'âge biologique afin d'écarter ou de différer l'apparition des maladies chroniques. Ralentir le processus du vieillissement devient une réalité.

Dossier réalisé par
Elena Sender

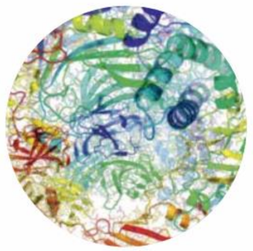
« On ne peut pas changer *son âge chronologique mais on peut changer son âge biologique.* » Cette affirmation choc n'est pas le propos d'un bonimenteur pressé de vendre une potion de jouvence, mais celle du directeur de la division du vieillissement biologique de l'Institut américain du vieillissement (NIA), l'un des Instituts nationaux de la santé (NIH) des États-Unis. Qu'on se le dise, *« le vieillissement est le facteur de risque majeur des maladies chroniques (cardiopathies, cancers, diabète, affections psychiatriques ou neurodégénératives...)*, explique Felipe Sierra. *Aussi souhaitons-nous retarder le vieillissement en général afin de prévenir ces maladies en particulier. »* Ce qui pourrait se révéler déterminant au moment où l'Organisation mondiale de la santé (OMS) prévoit un doublement de la population mondiale de plus de 60 ans qui passera à 22 % d'ici à 2050 (26 % en France en 2040). Et alors que l'espérance de vie en bonne santé dans l'Hexagone stagne autour de 64,5 ans pour les femmes et 63,4 ans pour les hommes en raison de ces pathologies de longue durée qui affectent 20 millions de personnes (30 % de la population). Ce qui engendre un coût élevé pour la collectivité : 60 % des dépenses de l'Assurance-maladie, soit 84 milliards d'euros (Cnam, 2019).

Selon Felipe Sierra, il serait donc possible de ralentir le processus physiologique à l'origine du vieillissement avec son cortège de maladies. Cette nouvelle approche a un nom : la géroscience. Une dizaine de congrès internationaux sont désormais organisés autour de cette question, rassemblant des centaines de scientifiques à travers le monde. Pour comprendre cette révolution, il importe de déterminer ce qu'est le vieillissement biologique. *« C'est le résultat d'une accumulation de dommages moléculaires et cellulaires*, explique Miria Ricchetti, l'une des spécialistes du domaine à l'Institut Pasteur à Paris, *et du ralentissement de la réparation de ces dommages avec l'âge. »*

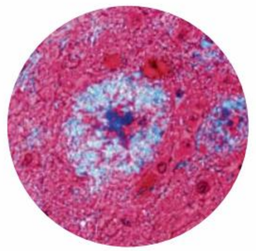
Une des théories du vieillissement énonce que tout commence par des atteintes portées à l'ADN, support de l'information génétique au cœur de nos cellules, soumis à des agressions extérieures (UV, molécules chimiques) ou intrinsèques (erreurs de réplication lors de divisions cellulaires). Avec les années, ces dom-

SPL, BSIP, SPL

## Quatre pistes pour freiner notre horloge biologique

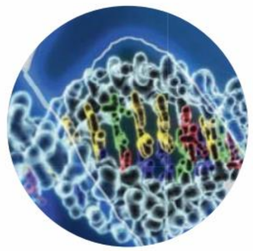


**RAJEUNIR LES PROTÉINES**
circulant dans le sang pour « booster » l'organisme.
**p. 36**



**NETTOYER LES CELLULES SÉNESCENTES**
qui se forment dans l'organisme.
**p. 38**

**MIMER LA RESTRICTION CALORIQUE**
qui accroît la longévité en entravant certains mécanismes délétères.
**p. 39**



**REPROGRAMMER L'ÉPIGÉNÉTIQUE**
en inhibant les gènes qui gouvernent notre âge biologique.
**p. 40**

DOSSIER
Géroscience

mages entraînent des réactions en cascade : modifications dites épigénétiques (systèmes de régulation des gènes) ; dérégulation des protéines produites à partir de l'ADN ; raréfaction des cellules souches ; accumulation de cellules sénescentes émettrices de molécules inflammatoires ; dysfonctionnement dans l'assimilation des nutriments. *« À 30 ans, l'organisme sait réparer ces anomalies beaucoup mieux qu'à 60 ans,* explique Felipe Sierra. *Les dommages s'accumulent et engendrent des dégâts visibles — comme notre apparence physique — et un affaiblissement de certaines fonctions. »* L'étude de ces phénomènes commence d'ailleurs à porter ses fruits. *« Ces briques élémentaires du vieillissement biologique sont autant de pistes de recherche »,* se réjouit Miria Ricchetti.

### Des essais chez l'humain sont déjà en cours

Les scientifiques savent désormais dater l'horloge biologique — et peuvent espérer la retarder — grâce à quatre leviers principaux testés avec succès sur les animaux : régénérer les protéines du sang *(lire ci-contre)*, éliminer les cellules sénescentes *(p. 38)*, mettre en œuvre une restriction alimentaire *(p. 39)*, ou reprogrammer l'épigénétique *(p. 40)*. Des essais chez l'humain sont déjà en cours. Pas question cependant pour Felipe Sierra de se lancer dans une quête de l'immortalité chère aux transhumanistes ! *« L'augmentation de la longévité sera un effet secondaire, sans être le but recherché »,* assure-t-il. En attendant d'éventuels traitements, il est possible dès aujourd'hui de prendre soin de son corps et surtout de son cerveau qui, selon le professeur Yves Agid, neurologue et fondateur de l'Institut du cerveau et de la moelle épinière *(lire p. 43), « est central pour bien vieillir ».* ■

# Rajeunir les protéines

La variation de certaines protéines sanguines témoigne de la baisse d'activité de nos organes. Elle pourraient servir à mettre au point un traitement de jouvence.

DING, DANG, DONG ! l'horloge biologique sonnerait trois fois à trois âges fatidiques : 34, 60 et 78 ans. Les protéines en circulation dans le sang connaîtraient alors un pic spécifique de changements d'activité biologique, témoin de modifications majeures dans l'organisme. C'est en tout cas ce qu'a découvert l'équipe de Tony Wyss-Coray, professeur de neurologie à l'université Stanford (États-Unis), dont les résultats ont été publiés dans la prestigieuse revue *Nature Medicine* en décembre 2019. *« Le but de nos travaux était de mieux comprendre les mécanismes du vieillissement »,* explique Benoît Lehallier, chercheur au département de neurologie et sciences neurologiques de l'université américaine, premier auteur de l'étude. *« Nous avions fait l'hypothèse que la diminution de la fonction de nos organes — principal facteur de risque de maladies liées à l'âge — était visible dans le sang. »* Gagné !

Par l'intermédiaire des protéines, les scientifiques sont parvenus à intercepter le « dialogue » qui se noue entre les cellules, les tissus et les organes. Pour ce faire, ils ont passé au crible le sang de 4263 volontaires en bonne santé de 18 à 95 ans. Puis *« des profils d'activité des protéines en fonction de l'âge ont été établis grâce au traitement de cette grande masse de données par une analyse biostatistique »,* explique Benoît Lehallier. Résultat : sur 2925 protéines étudiées, 1379 varient au cours de la vie. Surprise ! ces variations sont à leur maximum en moyenne à 34, 60 et 78 ans. Il suffirait même d'élaborer le profil de seulement 373 protéines d'un individu pour prédire son âge biologique... *« à plus ou moins trois ans près ».*

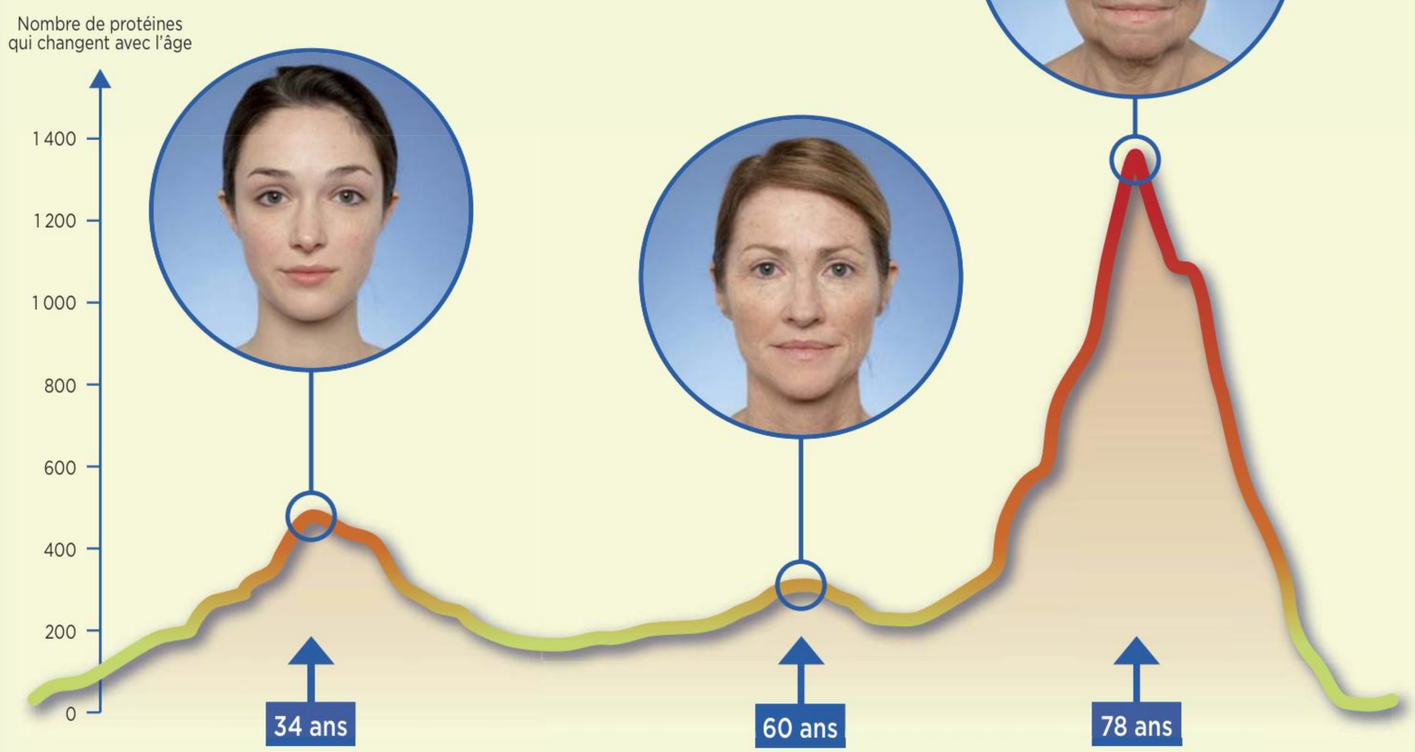
### Un lien avec les maladies chroniques

Que signifient pour autant ces trois vagues de changements du « protéome » (ensemble des protéines) du sang ? Le pic enregistré à 34 ans est le plus difficile à expliquer pour les chercheurs. *« Nous constatons que ce sont principalement les protéines qui régulent la matrice extracellulaire des cellules qui changent »,* poursuit Benoît Lehallier qui a également enregistré des signaux liés aux maladies cardiovasculaires *(lire l'encadré ci-contre)*. À 60 ans, on constate un changement dans l'activité de différentes protéines hormonales ainsi que celles associées à la cognition. Quant au grand pic observé à 78 ans, il serait une amplification de certaines variations d'activité observées dix-huit ans plus tôt. *« Le plus frappant est que les protéines dont l'activité change sont principalement celles liées aux maladies chroniques »,* note Benoît Lehallier, pour qui l'analyse du protéome sanguin pourrait donc devenir un outil de mesure de l'horloge biologique. Et un moyen de ralentir le processus ? *« L'idéal serait d'identifier toutes les protéines clés responsables du vieillissement puis de chercher un médicament qui influencerait leur niveau d'activité, afin de vieillir plus lentement »,* répond le chercheur.

L'équipe de Stanford poursuit ses recherches dans cette direction depuis les années 2000 où elle a mis en œuvre la « parabiose » qui consiste à connecter la circulation sanguine de deux souris. Il a ainsi été démontré que le sang de la jeune rongeuse « rajeunissait » les organes de son aînée ! Les protéines de jouvence dans le sang sont donc une réalité.

PROCESSUS

## Un bouleversement protéique à trois âges charnières




FRANK SCHWERE - SOURCE : NATURE MEDICINE DÉC. 2019

**C'EST LE PREMIER PIC DE CHANGEMENT PROTÉIQUE MAJEUR DANS LE SANG.** Des variations d'activité sont observées dans la « matrice extracellulaire », ensemble de protéines sécrétées par les cellules qui jouent un rôle dans le soutien mécanique des cellules voisines et dans la communication entre elles. Pour l'heure, les chercheurs peinent à comprendre les raisons de ces modifications. En revanche, des changements observés de protéines liées aux signaux cardio-vasculaires pourraient constituer des marqueurs précoces de risques pour la santé. Les investigations continuent.

**UNE BAISSE D'ACTIVITÉ DE PROTÉINES HORMONALES** (insuline, hormone de croissance...) se produit ainsi que de celles liées aux maladies chroniques (dont Alzheimer). En revanche, l'activité de protéines impliquées dans le guidage des axones (prolongements des neurones) augmente. Ce phénomène étant corrélé, à cet âge, à une baisse de réussite aux tests cognitifs, les chercheurs émettent une hypothèse : il pourrait s'agir d'un mécanisme de compensation au cours duquel les neurones affaiblis chercheraient à rétablir coûte que coûte des connexions.

**LES CHANGEMENTS S'AMPLIFIENT,** les phénomènes observés à 60 ans s'accentuent : une forte corrélation entre des variations protéiques et les maladies chroniques, ainsi que le déclin de la force musculaire et de la cognition. En outre, des modifications de l'activité des protéines de la matrice extracellulaire ont à nouveau lieu, plus importantes qu'à 34 ans. Cela témoigne d'une communication accrue entre cellules, probablement en souffrance. Le phénomène se poursuit ensuite.

Sans attendre, la start-up californienne Alkahest, cofondée en 2013 par Tony Wyss-Coray, a d'ores et déjà identifié chez l'humain certaines de ces protéines clés variant avec l'âge : les chronokines. *« Nous les isolons dans du plasma de jeunes adultes et formons des "fractions" du plasma enrichi en protéines bénéfiques »*, expose Elizabeth Jeffords, responsable du développement commercial d'Alkahest.

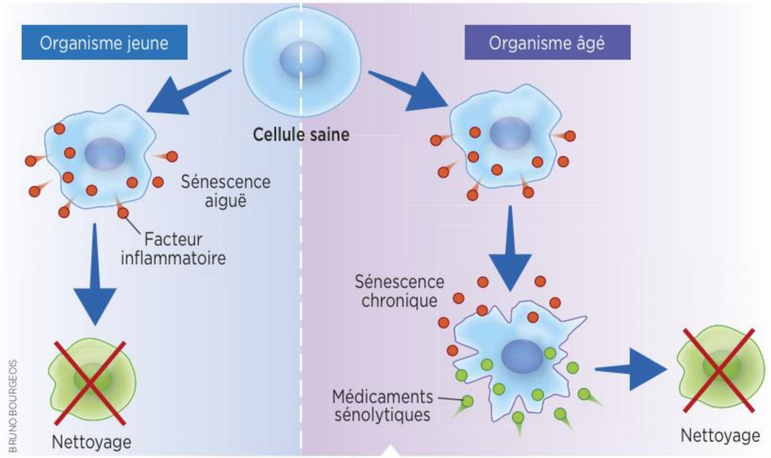
Une de ces fractions (GRF6019) a été testée sur 40 malades atteints de la maladie d'Alzheimer à un stade modéré afin de démontrer la sécurité du traitement (essai de phase II). Au bout de six mois, soit deux fois cinq injections, aucun effet secondaire n'était à déplorer. Ce qui est déjà en soi une très bonne nouvelle. Mieux ! une stabilisation de l'état cognitif a été observée. Un nouvel essai clinique, chez 20 malades d'Alzheimer au stade sévère, devrait livrer des résultats ce mois de mars : ces patients recevront ou non (groupe témoin) des transfusions de GRF6019.

### Cure de jouvence à hauts risques pour riches seniors

Mais d'ores et déjà, des idées terrifiantes ont germé dans la tête de riches seniors qui se seraient fait perfuser, hors de toute prescription et de tout contrôle, du plasma de jeunes donneurs. Alertée, la FDA, l'agence du médicament américaine, a dû publier une mise en garde en 2019 : *« Il n'y a aucun avantage clinique prouvé à la perfusion de plasma de jeunes donneurs pour guérir, atténuer, traiter ou prévenir ces maladies (Parkinson, sclérose en plaques, Alzheimer, maladies cardio-vasculaires…), et il existe des risques associés à l'utilisation de tout produit plasmatique. »* Comme des réactions allergiques, des lésions pulmonaires ou la transmission de maladies infectieuses. Vieux vampires, s'abstenir ! ■

# Nettoyer les cellules sénescentes

Des médicaments ont rallongé la vie de rongeurs en éliminant l'accumulation de cellules vieillissantes.



BRUNO BOURGEOIS

**Dans un organisme jeune,** une cellule en fin de cycle entre en sénescence dégageant des facteurs inflammatoires, puis meurt rapidement (nettoyage). Dans un organisme âgé, certaines de ces cellules perdurent. Des médicaments sénolytiques permettent de les éliminer.

Allonger la durée de vie de 36 %, c'est possible ! Chez la souris du moins. Cette prouesse a été accomplie par l'équipe du professeur James Kirkland, directeur du centre Robert-et-Arlene-Kogod sur le vieillissement à la Mayo Clinic (Rochester, États-Unis). Comment ? Grâce à des médicaments qui ont éliminé chez les rongeurs les cellules en fin de vie, dites sénescentes. *« Les cellules du corps ont la capacité de se diviser un certain nombre de fois, puis elles cessent de se multiplier*, explique Miria Ricchetti, spécialiste du vieillissement à l'Institut Pasteur à Paris. *Elles peuvent alors entrer dans un état particulier — la sénescence — avant d'être éliminées. »* En dépit de leur étymologie (du latin *senex*, « vieux »), ces cellules jouent un rôle important pendant le développement embryonnaire et, par la suite, *« elles peuvent avoir un rôle de protection tout au long de la vie, en communiquant par l'émission de signaux moléculaires vers les autres cellules »*, poursuit Miria Ricchetti. Dans l'organisme jeune, l'équilibre entre formation et nettoyage des cellules sénescentes est bien géré. Mais avec l'âge, la première augmente tandis que le second perd en efficacité. Résultat : ces cellules s'accumulent dans les organes, *« émettant notamment des facteurs inflammatoires associés à des maladies chroniques »*.

F. GARDY/INSTITUT PASTEUR

**« Rétablir des niveaux corrects de la protéine CSB permettra peut-être de ralentir le vieillissement chez l'humain »**

**Miria Ricchetti,** spécialiste du vieillissement au Laboratoire cellules souches et développement de l'Institut Pasteur

Miria Ricchetti connaît bien ce problème. Elle travaille sur le syndrome de Cockayne, une pathologie héréditaire rare caractérisée par un retard de croissance, une photosensibilité, un vieillissement et un décès prématurés. En étudiant les cellules de patients, elle a découvert, en 2019, que la voie biologique défectueuse chez les malades était la même que dans les cellules sénescentes d'un individu normal. C'est notamment la perte progressive d'une protéine (Cockayne Syndrome B, CSB), absente ou altérée chez les malades, qui déclencherait la sénescence chez une personne saine. *« L'idéal serait de réussir à produire la CSB pour ralentir la pathologie*, estime Miria Ricchetti. *Et pourquoi pas, un jour, en restaurer les niveaux corrects chez la personne âgée pour ralentir le vieillissement. »*

### Un anticancéreux et un anti-inflammatoire

À la Mayo Clinic, James Kirkland a choisi une autre voie. Il mise sur deux médicaments « sénolytiques » pour nettoyer les cellules sénescentes : le dasatinib, dit inhibiteur de la tyrosine kinase, un anticancéreux, et la quercétine, un flavonoïde anti-inflammatoire. C'est ce double traitement qui a prolongé la vie des souris d'un tiers (*Nature Medicine*, 2018). Surtout, le chercheur affirme avoir réussi à empêcher *« l'apparition accélérée de dysfonctionnements physiques et retardé les maladies chroniques liées à l'âge, y compris les cancers »*. En 2019, lors du premier essai clinique, neuf personnes souffrant de diabète ont reçu ce traitement pendant onze jours. Résultat : le taux de cellules sénescentes a été réduit dans leur tissu graisseux. Un premier pas. ■

SPL

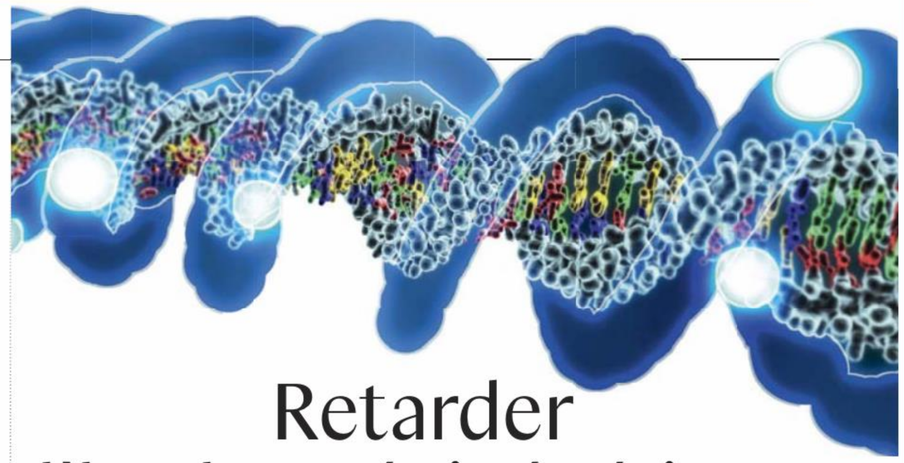
Qu'est-ce qui permettrait de réduire l'incidence des maladies chroniques dont le cancer et l'obésité tout en augmentant la longévité ? Le jeûne intermittent ! C'est-à-dire alterner de courtes périodes (six heures) où l'on mange avec de plus longues (dix-huit heures) où l'on ne mange pas, tout en continuant à boire. Ou encore s'alimenter cinq jours à sa faim puis, pendant deux jours, ne prendre qu'un seul repas léger.

Ce rythme favoriserait la santé et la longévité selon la conclusion d'une vaste méta-analyse publiée fin 2019 dans le *New England Journal of Medicine* par Rafael de Cabo, de l'Institut national du vieillissement américain, et Mark Mattson, du Laboratoire de neurosciences de l'université Johns Hopkins de Baltimore (États-Unis). La restriction calorique augmenterait la longévité du rat de 14 à 45 % selon les études et celle de la souris de 4 à 27 %. Chez l'humain, elle diminuerait la résistance à l'insuline (qui favorise le diabète) et la dyslipidémie (taux anormal de lipides dans le sang), l'hypertension, l'inflammation et l'obésité.

RESTORBIO

**Joan Mannick,** cofondatrice du laboratoire de biotechnologie resTORbio, à Boston (États-Unis), spécialisé dans la recherche de traitements contre les maladies liées au vieillissement.

À partir de ce constat, une autre piste est explorée : existerait-il un traitement mimant les effets du jeûne ? C'est l'objectif de Joan Mannick, cofondatrice du laboratoire de biotechnologie resTORbio à Boston (États-Unis) qui mise sur une catégorie de médicaments appelés les « inhibiteurs de mTor », du nom d'une enzyme chargée notamment de réguler la prolifération et la croissance cellulaires. *« Nous savons que le jeûne provoque son inhibition »*, explique la chercheuse. Lorsque les nutriments viennent à manquer, mTor se met en effet en veille, entraînant un fonctionnement « à l'éco- ▸



# Retarder l'horloge épigénétique

Des chercheurs parviennent à modifier les « étiquettes » moléculaires localisées sur l'ADN, ce qui diminuerait le risque de mortalité.

nomie » des cellules. Mais avec l'âge, la régulation de mTor se ferait moins bien, d'où l'intérêt d'une substance qui l'inhiberait artificiellement.
Le premier inhibiteur de mTor, découvert dans les années 1970, est la rapamycine prescrite comme antirejet après une greffe d'organe. Donnée à des souris âgées, elle retarde effectivement les maladies liées à l'âge et augmente leur longévité (Harrisson, *Nature*, 2009). Un autre inhibiteur est la metformine utilisée pour réduire la résistance à l'insuline. En 2014, selon une étude de l'université de Cardiff (Royaume-Uni), des personnes obèses et diabétiques traitées à la metformine ont vu leur mortalité diminuer par rapport aux personnes saines. Depuis, Nir Barzilaï, directeur de l'Institut de recherche sur le vieillissement à l'Albert-Einstein College of Medicine de New York (États-Unis), élabore un essai clinique unique au monde : TAME (Targeting Aging with Metformin) vise à montrer que la metformine pourrait retarder les maladies liées à l'âge chez des seniors en bonne santé.

### Un médicament « au cours de la prochaine décennie »

Le laboratoire ResTORbio a développé son propre inhibiteur (RTB101). Un essai clinique de phase 2 sur des plus de 65 ans traités préventivement au RTB101 a montré *« une incidence réduite des infections des voies respiratoires »*, assure Joan Mannick. Cependant, en 2019, l'essai de phase 3 — impliquant une comparaison avec un placebo — n'a pas eu le succès escompté. Pas de quoi décourager la chercheuse, persuadée de trouver un médicament *« au cours de la prochaine décennie »*. Déjà, son laboratoire lance un nouvel essai… pour ralentir la maladie de Parkinson, cette fois. ■

RETARDER D'UN AN ET DEMI son horloge biologique, c'est ce que permet d'espérer une étude pilote menée par l'équipe de Steve Hovarth, professeur de biostatistique à l'université de Californie de Los Angeles (États-Unis). Dans ce travail (*Aging Cell*, 2019), neuf hommes, âgés de 51 à 65 ans, en bonne santé ont pris, pendant un an une hormone de croissance de synthèse (hrGH) qui stimule le thymus, organe du système immunitaire qui s'atrophie avec l'âge. Pour éviter la hausse de la glycémie due au traitement, une autre hormone, la DHEA, ainsi que de la metformine *(lire ci-contre)*, leur ont été aussi administrées. À partir de prélèvements sanguins avant et après l'expérience, les scientifiques ont alors déterminé l'âge « épigénétique » des volontaires. Qu'est-ce que c'est ? Les gènes s'expriment différemment tout au long de la vie, en fonction de la position d'« étiquettes moléculaires » (méthylations) localisées sur l'ADN. En 2013, Steve Horvath, a démontré qu'à partir de 353 sites de méthylation, un algorithme peut déterminer l'âge biologique des cellules. Appliqué aux neuf participants, l'algorithme a révélé une surprise : après douze mois de traitement, leur âge épigénétique a reculé de un an et demi ! *« Cela suggère fortement que leur risque de mortalité a diminué*, commente Steve Horvath, *sans pouvoir donner une estimation précise de l'augmentation de leur durée de vie.* » L'étude pêche cependant par son faible effectif et l'absence de groupe témoin. C'est pourquoi un nouvel essai est lancé sur 50 personnes avec un groupe de contrôle.

**Un processus chimique, les méthylations** (représentées ici par les globes blancs), commande l'activation des gènes (illustration). Les effacer permettrait d'inactiver les séquences d'ADN en rapport avec l'âge biologique.

SPL

### Des souris qui vivent 30 % plus longtemps

En attendant, chez la souris, ça marche ! Dans le laboratoire de Juan Carlos Belmonte Izpisua à l'Institut d'études biologiques Salk, à La Jolla (États-Unis), des souris atteintes du syndrome de Hutchinson-Gilford (progéria), qui engendre un vieillissement et une mort prématurés, ont rajeuni grâce à l'épigénétique. Dans une étude marquante (*Cell*, 2016), l'équipe a, en effet, effacé les méthylations liées à l'âge des souris en leur faisant produire par intermittence des facteurs protéiques dits de Yamanaka (qui font revenir les cellules à leur état embryonnaire). Ainsi, les rongeurs ont vu leur vie rallongée de 30 % avec des organes en meilleure santé. ■




**DU 13 AU 21 JUIN 2020**

**PARIS - BRÊME REYKJAVIK - PARIS**

| Jour | Escales | Arrivée | Départ |
|---|---|---|---|
| 13/06 | Paris / Bremerhaven *(Allemagne)* | | 15h00 |
| 14/06 | En mer | | |
| 15/06 | Lerwick *(Iles Shetland)* | 08h00 | 13h00 |
| 16/06 | Torshaven *(Iles Feroé)* | 08h00 | 13h00 |
| 17/06 | Seydisfjordhur *(Islande)* | 13h00 | 18h00 |
| 18/06 | Husavik *Islande)* | 09h00 | 17h00 |
| 19/06 | Isafjordhur *(Islande)* | 08h00 | 17h00 |
| 20/06 | Reykjavik *(Islande)* | 08h30 | nuit à quai |
| 21/06 | Reykjavik *(Islande)* / Paris | | - |

**À partir de 2.240 €**
par personne en **cabine intérieure, catégorie 1** occupée par **2 personnes.**
(vols internationaux inclus, **hors excursions optionnelles et pourboires facultatifs**)

Ce prix comprend :
- La croisière à bord du M/s Berlin en pension complète du dîner du 1er jour au petit déjeuner du dernier jour, boissons aux repas incluses.
- Les vols (réguliers ou affrétés) Paris - Brême et Reykjavik-Paris.
- La présence (* sauf raison de force majeure) pendant toute la croisière, et les conférences, des scientifiques invités par Sciences et Avenir.
- Des animations de qualité chaque soir variétés, soirée classique etc.).
- L'équipe d'encadrement Plein Cap.
- Les assurances assistance rapatriement.

Les croisières du
# SAVOIR SCIENCES ET AVENIR

## ISLANDE, LE FEU, LA GLACE, LES HOMMES

**DOMINIQUE LEGLU**
Directrice des rédactions de *Sciences et Avenir* et *La Recherche*

**RÊVE DE GLACE.** Les noms, à eux seuls, font rêver : Isafjordur, Husavik, Osvor… Et même celui de la capitale, Reykjavik, qui sonne comme une stalactite de glace. Avec l'Islande, mot francisé de l'Iceland (terre de glace en anglais), surgissent des images de fjords, de baleines, de geysers. Le pays souffle d'emblée le froid, le chaud et l'envie d'en savoir plus. Cela tombe bien. A bord du Ms. Berlin, aux côtés de Yves Coppens, préhistorien-parrain des Croisières du Savoir, embarqueront trois connaisseurs des trésors que recèlent ces lieux. Les fameuses sagas islandaises, que décryptera la docteure en études nordiques Gaëlle Reneteaud. Mais aussi l'océan si froid et si riche en poissons et mammifères marins, sans secret pour Gilles Boeuf, ancien directeur du Museum et ami de Sciences et Avenir. Quant aux volcans sous la glace, le Pr Jacques-Marie Bardintzeff nous en dressera un portrait saisissant. Et nous n'oublierons pas la découverte des îles Shetland et du port du dieu Thor (Torshaven) dans les îles Féroé. Vite, embarquons.

## ILS SERONT AVEC VOUS PENDANT TOUTE LA CROISIÈRE *

**YVES COPPENS**

Paléontologue, spécialiste mondialement connu de l'évolution humaine, académicien et professeur au Collège de France. Il nous parlera du peuplement des îles que nous allons accoster, de la préhistoire aux moines irlandais et aux Vikings. Dernier ouvrage paru : *« Origines de l'Homme, origines d'un homme »*.

**GAËLLE RENETEAUD**

Docteur en Etudes Nordiques de l'Université Paris-Sorbonne, spécialiste de l'Islande. Elle nous dira ce que sont les *sagas* et leur place dans la culture islandaise et nous racontera le regard porté sur l'Islande dans la cartographie ancienne et les premiers récits de voyage. Dernier ouvrage paru : *« Le(s) Nord de Xavier Marmier »*.

**GILLES BOEUF**

Biologiste, spécialiste de la biodiversité marine et terrestre, professeur à Sorbonne-Université. Il nous expliquera l'extraordinaire richesse du monde marin, ainsi que l'importance vitale pour l'humanité, mais aussi l'extrême fragilité, de la biodiversité. Dernier ouvrage paru : *« La biodiversité, de l'océan à la cité »*.

**JACQUES-MARIE BARDINTZEFF**

Volcanologue professeur à l'Université Paris-Sud Orsay. Il nous présentera les volcans d'Islande et leurs éruptions, les geysers et la géothermie, les paysages étonnants. Il nous expliquera comment des volcans prennent naissance au fond des océans puis émergent en îles. Dernier ouvrage paru : *« Volcanologue »*.

Avec

**OLIVIER LASCAR**
**Rédacteur en chef du pôle digital de Sciences et Avenir**
Pendant la croisière l'œil de Lascar restera ouvert, pertinent et… impertinent !

Une occasion exceptionnelle de larguer les amarres pour vivre neuf belles journées d'évasion entre ciel et terre. Des journées denses, rythmées par les nombreux plaisirs de la vie à bord, de passionnantes conférences et des rencontres avec des compagnons de voyage partageant les mêmes motivations et les mêmes curiosités.
Et bien sûr les excursions à la découverte de ces terres septentrionales aux somptueux paysages dont vous garderez un souvenir inoubliable !

IM-[illegible]-OP

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS : **PLEIN CAP « Croisière du Savoir »**
CROISIÈRES PLEIN CAP : **251 ROUTE DE LA COLLE - 06270 VILLENEUVE-LOUBET - info@plein-cap.com - Tél. 04 93 20 21 20**
**Programme complet, renseignements et inscriptions sur le site web : croisiere-du-savoir.fr**

**L'exercice physique** favorise l'oxygénation du cerveau et stimule la sécrétion de facteurs de croissance des neurones.

CORINNE ROZOTTE/DIVERGENCE

# 5 conseils pour rester jeune plus longtemps

Bien vieillir passe avant tout par l'entretien de ses fonctions cérébrales.

## 1 Privilégier une bonne alimentation

Le régime méditerranéen a fait ses preuves dans la protection cérébrale. Il est riche en fruits et légumes, poissons, huile d'olive, céréales complètes, légumes secs, noix, fromage frais ou yaourt, viandes maigres (volaille sans la peau, escalopes de veau...). Les fonctions cognitives sont notamment améliorées, comme le montre une étude publiée en 2015 par l'équipe de Cinta Valls-Pedret, de l'hôpital de Barcelone (Espagne), sur 447 volontaires de plus de 65 ans ayant suivi ce régime pendant quatre ans. Quant à l'alcool — vin compris —, il est classé « cancérogène certain » par le Centre international de recherche sur le cancer (Circ). Réduire sa consommation (10 verres maximum par semaine) est une nécessité pour la santé en général *(lire* S. et A. *n° 864, février 2019)*.

## 2 Faire de l'exercice physique

30 à 60 minutes d'activité physique quotidienne (marcher, monter les escaliers...) plus deux séances de 20 à 60 minutes d'exercices physiques hebdomadaires (randonnée, vélo, natation...) sont bénéfiques. Le sport favorise le développement de nouveaux capillaires sanguins et donc une plus grande oxygénation, notamment du cerveau. Il stimule aussi la sécrétion de facteurs de croissance des neurones. Se bouger induirait 35 % de risque en moins de développer des troubles cognitifs par rapport aux sédentaires selon une méta-analyse incluant 15 études sur 33 816 patients de plus de 55 ans (Sofi F., *Journal of Internal Medicine*, 2011).

## 3 Surveiller sa santé

Pour prendre soin de son cerveau, il faut surveiller sa santé globale. Les facteurs de risque cardio-vasculaire (tabac, diabète, hypertension, obésité, alcool, etc.) sont, en effet, une menace majeure pour le cerveau. Une étude de l'Inserm (Samieri C., *Jama*, 2018) a démontré que maintenir un comportement bénéfique pour le cœur était associé à un risque diminué de déclencher une démence et de connaître un déclin cognitif après 65 ans. Selon une vaste méta-analyse publiée par la revue britannique *The Lancet*, publiée en 2017 *(lire* S. et A. *n° 847, septembre 2017)*, le risque de démence pourrait être réduit de 1 % en traitant le diabète et en prévenant l'obésité, de 2 % en traitant l'hypertension, de 4 % en soignant la dépression, de 5 % en arrêtant de fumer.

## 4 Favoriser une vie sociale et lutter contre le stress

Le risque de démence peut baisser de 2 % grâce à une vie sociale riche, selon la méta-analyse du *Lancet*. En effet, l'isolement augmente le risque *« d'hypertension, de maladies coronariennes et de dépression »*. Mais aussi, *« il entraîne une inactivité cérébrale liée au déclin cognitif plus rapide et à une baisse de l'humeur »*. D'où *« l'importance de prendre en compte l'engagement social des personnes âgées et pas seulement leur santé physique et mentale »*. Enfin, le stress chronique (répété) fait, lui, le lit de la dépression. Lutter contre cet état fait donc aussi partie des outils antidéclin cognitif. La méditation peut-être une bonne piste. En 2017, une étude de l'Inserm a observé que le cerveau d'experts en méditation de plus de 60 ans possède des régions plus volumineuses et un métabolisme plus élevé que celui de témoins *(lire* S. et A. n° 875, *janvier 2020)*.

## 5 Pratiquer des loisirs créatifs

Mieux vaut bricoler, faire de la musique, des puzzles, jouer aux cartes, etc., que regarder la télévision ! Des activités mentales quotidiennes diminuent en effet le risque de démence, pourvu qu'elles soient stimulantes et pas toujours répétitives. Une étude de l'Inserm (Akbaraly T., *Neurology*, 2009) a montré, sur 5600 personnes de plus de 65 ans, que les activités de loisirs sont associées à une réduction du risque de démence et d'Alzheimer.
Selon l'étude finlandaise et suédoise FINGER la combinaison de tous ces facteurs a amélioré ou maintenu les fonctions cognitives d'un millier de seniors au terme d'un essai d'intervention sur deux ans (Ngandu T, *Lancet*, 2015) ■

ElenaSender

### POUR EN SAVOIR PLUS

**Livre**

- **Le Guide anti-Alzheimer, les secrets d'un cerveau en pleine forme**
Philippe Amouyel, Cherche Midi, 2018.

**Internet**

- Le site des caisses de retraite et de Santé publique France qui fourmille d'informations sur tous les aspects du vieillissement : **www.pourbienvieillir.fr**

FRANÇOIS GUÉNET/DIVERGENCE

**INTERVIEW**

## YVES AGID

FONDATEUR DE L'INSTITUT DU CERVEAU ET DE LA MOELLE ÉPINIÈRE (ICM) À PARIS

# « Le responsable, c'est le cerveau »

**Le neurologue publie « Je m'amuse à vieillir » (Odile Jacob) dans lequel il souligne l'importance d'entretenir son cerveau pour rester jeune.**

***Pourquoi affirmez-vous que seul le vieillissement du cerveau compte ?***
On peut avoir de l'arthrose, de la constipation ou des cheveux blancs, ce n'est pas cela qui donne l'air vieux ! On trouve une personne « vieille » parce qu'elle marche à petits pas, que sa voix s'affaiblit, qu'elle perd un peu la mémoire ou devient morose... C'est le cerveau qui est responsable de tous ces signes ! Le vieillissement cérébral global est la somme de millions de « microvieillissements » au sein du cerveau. Si la marche est ralentie, c'est que les neurones commandant la motricité sont affaiblis. Si la mémoire défaille, c'est que les zones importantes pour l'encodage (hippocampe) ou le stockage des informations (cortex cérébral) sont touchées. Ce vieillissement, en pièces détachées, est propre à chacun. Selon l'ampleur et la localisation des circuits altérés, nous pouvons avoir l'air de vieillards cacochymes dès 70 ans... ou courir le marathon à 100 ans !

***Perd-on donc des neurones en vieillissant ?***
Le poids du cerveau diminue d'environ 2 % tous les dix ans dès 40-50 ans, car il y a une réduction du volume de la substance grise (corps cellulaires et connexions des neurones) et surtout du volume de la matière blanche (axones entourés de myéline). Pour autant, on ne perd pas de neurones dans le vieillissement strictement normal. Le déclin cognitif vient de ce que le métabolisme des neurones diminue, affaiblissant leur force et réduisant le nombre de leurs terminaisons nerveuses et de leurs connexions avec les autres neurones : la communication d'informations s'effectue moins bien. Au-delà d'un certain nombre de neurones touchés, les signes extérieurs apparaissent. Mais, avant cela, nous avons tous un mécanisme de compensation qui, grâce à la plasticité cérébrale, permet de résister au déclin.
Jusqu'à un certain point, du moins... D'où l'importance de la recherche dans ce domaine.

**Propos recueillis par E. S.**

# Les mystères glacés de Neptune et d'Uranus

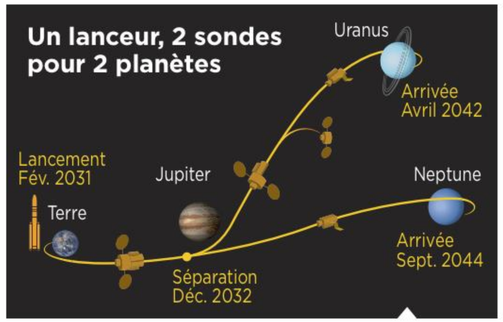
Les programmes d'exploration spatiale pour les décennies à venir pourraient inclure les deux planètes lointaines, longtemps négligées par la Nasa ou l'ESA. Car ces géantes de glace font figure de mondes à part dans le système solaire.

**Par Franck Daninos** @fdaninos

Depuis le survol de Voyager 2, voilà plus de trente ans, aucune sonde ne leur a rendu visite. L'une arbore un joli bleu-vert clair, l'autre un bleu profond, mais à part cela, on ne connaît pas grand-chose de ces deux géantes. Le vent va-t-il tourner en leur faveur et une mission être enfin décidée ? Uranus et Neptune demeurent « *les plus énigmatiques des huit planètes du système solaire* », insiste Athéna Coustenis, directrice de recherche à l'observatoire de Paris, pour qui « *il est grand temps de retourner les explorer* ». Ils étaient plus de 250 astronomes et spécialistes des voyages interplanétaires à se réunir mi-janvier à la Royal Society de Londres (Royaume-Uni), tout près du palais de Buckingham, et à délivrer le même message que la scientifique franco-grecque, co-initiatrice du colloque londonien, l'un des plus importants jamais organisés sur ces objets célestes. Trois jours durant, aux côtés des membres de cette vénérable société savante, plusieurs hauts responsables des agences spatiales européenne (ESA) et américaine (Nasa) ont attentivement suivi les échanges scientifiques. Car les deux géantes sont aussi les plus éloignées de notre planète, bien au-delà de Jupiter ou Saturne, respectivement à 2,9 et 4,5 milliards de kilomètres du Soleil. Lancer une importante mission d'exploration aussi loin n'est jamais facile !

« *Ce sont les grandes oubliées de la conquête spatiale* », souligne Athéna Coustenis. Alors que Mars et Vénus ont suscité des dizaines de missions chacune, que Jupiter a été visitée huit fois, Saturne quatre fois, et que Mercure a bénéficié d'un orbiteur et de quatre survols, Uranus et Neptune n'ont été survolées qu'une seule fois, par la sonde Voyager 2, passée le 24 janvier 1986 à 80 000 kilomètres de l'une et le 25 août 1989 à 5000 km de l'autre, avant qu'elle ne continue sa course. Aujourd'hui, le *timing* semble enfin favorable à un retour ! « *Indispensable pour compléter l'exploration du système solaire, une mission s'impose comme le nez au milieu de la figure* », affirme Michel Blanc, de l'Institut de recherche en astrophysique et astronomie de Toulouse. Alors que la Nasa et l'ESA élaborent en ce moment leurs programmes d'exploration pour les décennies à venir, « *le colloque de Londres visait à mobiliser la communauté scientifique et à envoyer un signal fort aux agences spatiales* », précise l'astronome.

« *Sous bien des aspects, Uranus et Neptune constituent des mondes totalement à part* », souligne Thibault Cavalié, du Laboratoire d'astrophysique de Bordeaux. Elles sont effectivement très différentes des petites planètes telluriques du système solaire interne — Mercure, Vénus, la Terre, Mars — formées principalement de métaux et de roches. Ces deux

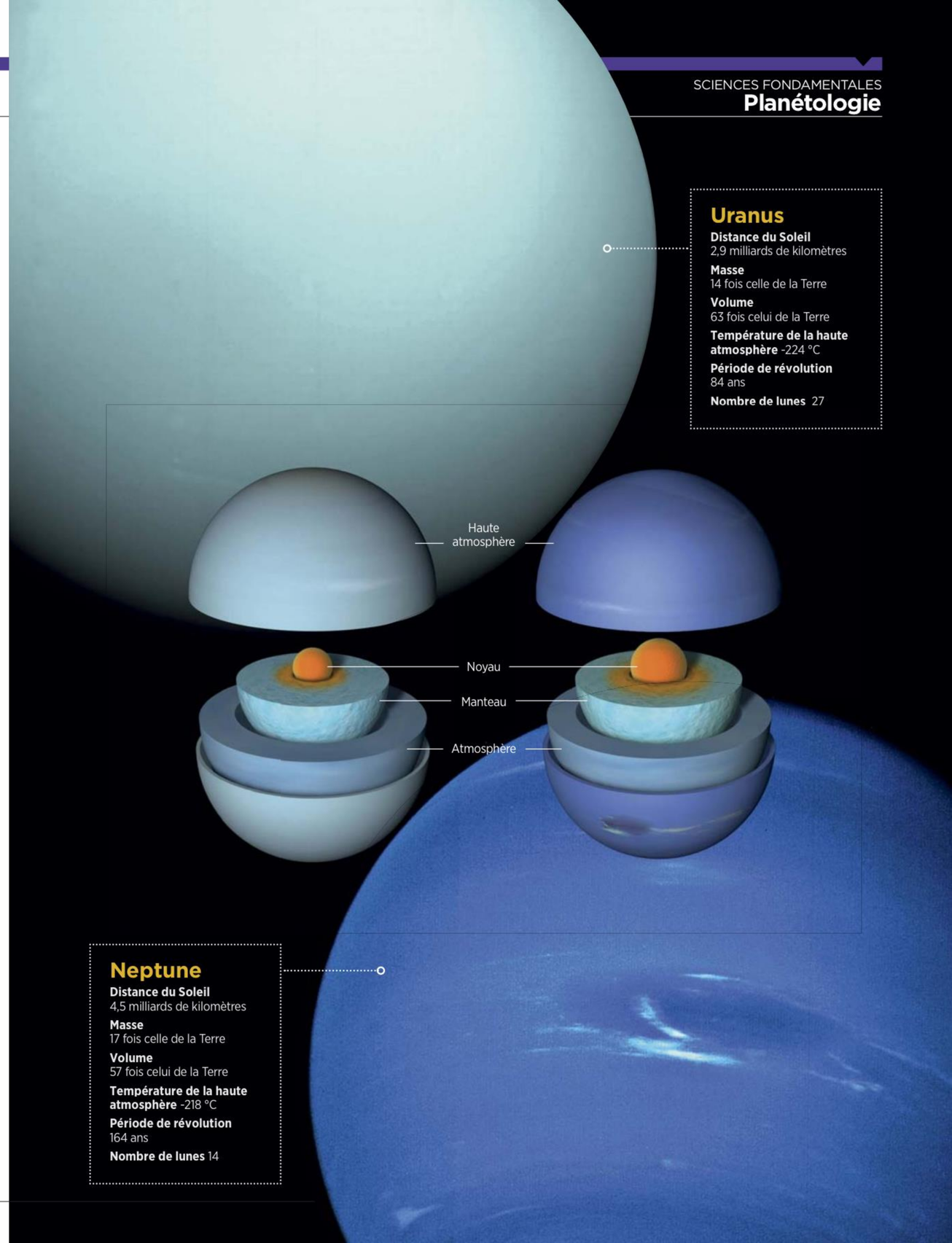



**Ce scénario** de mission privilégié par la Nasa consiste à utiliser un même lanceur pour deux sondes. Celles-ci profiteraient de l'assistance gravitationnelle de Jupiter pour se diriger respectivement vers Uranus et Neptune.

LESIA

**« Ce sont les plus énigmatiques des huit planètes du système solaire. Il est grand temps de retourner les explorer »**
**Athéna Coustenis,** directrice de recherche à l'observatoire de Paris






INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS

mastodontes font certes partie des géantes comme Jupiter et Saturne, mais à la différence de ces dernières, gigantesques boules de gaz composées essentiellement d'hydrogène et d'hélium, elles sont constituées, estime-t-on, en majeure partie d'ammoniac, de méthane et surtout de glace d'eau soumise à des pressions titanesques. Des conditions telles que cette eau devrait se trouver dans un état qualifié de « super-ionique », mi-solide, mi-liquide, suggèrent les simulations. *« Les détails sont toutefois largement inconnus,* insiste Michel Blanc. *Et nos connaissances, quasi figées depuis Voyager 2.* »

Les énigmes abondent : pourquoi des vents soufflant jusqu'à 2400 km/h sur Neptune, un record dans le système solaire ? Ou ces températures qui chutent à -224 °C dans l'atmosphère d'Uranus, faisant de celle-ci la plus froide des planètes ? Pourquoi son axe de rotation possède-t-il la particularité d'être quasi parallèle à son plan orbital, donnant ainsi l'impression que la planète « roule » autour du Soleil telle une boule de billard ? Autre bizarrerie, et non des moindres : leurs champs magnétiques. Très intenses, multipolaires et inclinés de près de 50° par rapport à l'axe de rotation, on ne les retrouve chez aucune autre

TIAN FENG

« Les scientifiques soutenant et préparant pareille odyssée ne seraient sans doute pas les mêmes que ceux qui l'exploiteraient »

**Michel Blanc,** astronome à l'Institut de recherche en astrophysique et planétologie de Toulouse

planète. Mieux, on ne connaît même pas leur origine. *« Uranus et Neptune sont les pièces manquantes dans notre compréhension du système solaire,* insiste Thibaut Cavalié. *Seul un engin satellisé permettra de combler ces lacunes et de comprendre pourquoi les planètes se sont formées en trois groupes distincts : les rocheuses, les géantes gazeuses et les géantes de glace. »*

Une mission de ce type n'est pas facile, on l'a compris. Premier obstacle, la durée du voyage. Avec les technologies actuelles, il faut en effet douze à quinze ans pour rallier ces planètes. Et près de vingt-cinq ans si l'on y ajoute le temps pour construire le vaisseau et les instruments idoines… sans parler de la collecte ni de l'analyse des données ! *« Les scientifiques soutenant et préparant pareille odyssée ne seraient sans doute pas les mêmes que ceux qui l'exploiteraient,* relève ainsi Michel Blanc, *ce qui requiert une organisation particulière et une motivation sans faille. »* Autre problème majeur, le coût. Il pourrait s'élever à 3 milliards de dollars. *« Une coopération internationale, entre les États-Unis et l'Europe en particulier, semble quasiment indispensable »,* soutient Mark Hofstadter, du Jet Propulsion Laboratory de la Nasa à Pasadena (États-Unis). Elle serait alors nécessairement sous leadership américain. Car il faudrait recourir à des générateurs électriques à radio-isotopes utilisant notamment du plutonium-238… une technologie que seule la Nasa maîtrise.

### L'Europe attend la décision américaine pour s'engager

Au début des années 2010, une nouvelle expédition vers les confins du système solaire était en bonne voie d'être lancée par les États-Unis. Le Congrès venait de garantir à la Nasa un approvisionnement régulier en plutonium-238, et le projet apparaissait en troisième position du Planetary Science Decadal Survey rédigé par le Conseil américain de la recherche, derrière une mission de collecte d'échantillons sur Mars et une autre visant à envoyer un orbiteur vers Europe, une des lunes de Jupiter. *« Ce document est d'une importance cruciale,* décrypte Olivier Mousis, du Laboratoire d'astrophysique de Marseille. *Il fixe, tous les dix ans, les grandes priorités de la Nasa pour l'exploration du système solaire, et notamment les missions coûtant plus de un milliard de dollars. »*

Finalement, seules les missions vers Mars et Europe furent planifiées… Elles débuteront respectivement en juillet 2020 et en 2023. L'horizon semble donc aujourd'hui dégagé pour les planètes de glace ! *« Il y a de bonnes chances qu'elles figurent cette fois en première position du Planetary Science Decadal Survey,* estime Mark Hofstadter, *dont l'élaboration débute ce printemps et qui s'étalera jusqu'à fin 2021. C'est le* big deal *en ce moment et rien n'est encore joué. »* Le trio de tête a changé, Neptune et Uranus seraient désormais en concurrence avec une mission d'envergure vers Vénus et la collecte d'échantillons martiens…

L'Europe attend ainsi une décision américaine pour s'engager. *« Si la Nasa retourne explorer Uranus et Neptune, il sera politiquement très difficile à l'ESA de rester en retrait de cette formidable aventure spatiale,* estime Thibaut Cavalié. *Elle pourrait fournir une sonde de rentrée atmosphérique voire un orbiteur dans le meilleur des cas. »* L'un des scénarios privilégiés actuellement ? Envoyer deux vaisseaux avec le même lanceur en 2030 ou 2031. Pendant cette fenêtre de tir favorable, ils profiteraient en effet de l'assistance gravitationnelle de Jupiter, ce qui n'arrive que tous les quinze ans environ. Cela leur permettrait d'accroître leur vitesse et la durée du voyage serait réduite de trois ans. Le premier survolerait Uranus et y larguerait une sonde atmosphérique avant de partir étudier les petits corps gelés et encore plus lointains de la ceinture de Kuiper. Le second se satelliserait quant à lui autour de Neptune pour monitorer ses entrailles et inspecter par la même occasion sa plus grosse lune, Triton, où d'étranges geysers d'azote ont été repérés *(lire l'encadré ci-dessus). « Des décennies après Voyager 2, les découvertes seraient sans doute innombrables,* s'enflamme Olivier Mousis. *Elles chambouleraient nos connaissances et nous forceraient à réviser les manuels scolaires sur ces planètes esseulées. »* ■

GALAXIE

## Une clé pour comprendre les exoplanètes

Uranus et Neptune ne sont pas seulement des briques manquantes dans notre compréhension du système solaire… Elles constituent aussi une clé essentielle pour appréhender les autres systèmes planétaires dans la galaxie. Parmi les quelque 4200 exoplanètes (planètes extrasolaires) débusquées à ce jour, *« près des trois quarts ont une masse et un volume comparables à celles d'Uranus et de Neptune »,* indique en effet Magali Deleuil, du Laboratoire d'astrophysique de Marseille. Les chercheurs ont commencé à s'en rendre compte au début des années 2010, grâce notamment au télescope spatial Kepler. *« Les recensements souffrent certes de biais observationnels,* reconnaît l'astronome, *en favorisant la détection des exoplanètes les plus grosses et les plus proches de leur étoile. Mais on voit bien que celles analogues à Neptune et Uranus sont omniprésentes dans la galaxie. »* Elles sont notamment dix fois plus nombreuses que les analogues à Jupiter et Saturne, d'où le regain d'intérêt que les géantes de glace suscitent dans la communauté scientifique.

RON MILLER/LEEMAGE

**Des panaches d'azote liquide** allant jusqu'à 8 km de hauteur ont été observés par la sonde Voyager 2 à la surface de Triton (vue d'artiste avec Neptune, en bleu).

OBSERVATION

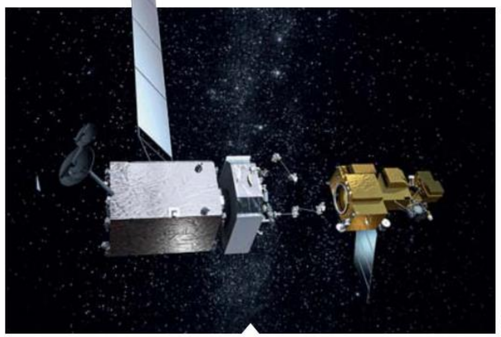
## Les fabuleux paysages de Triton, une lune de Neptune

La plus grosse lune de Neptune, Triton, surprit les astronomes quand la sonde Voyager 2 passa dans son voisinage en 1989. L'astre de 2700 km de diamètre présentait en effet de fabuleux paysages : des collines, des plaines, des étendues grumeleuses et un entrelacs de nervures et de failles. Seuls 200 cratères d'impact furent retrouvés sur les images alors qu'on en attendait des dizaines de milliers, révélant ainsi une importante activité géologique. Triton était du reste parsemé de geysers crachant des gaz d'azote jusqu'à 8 km de haut ! *« Autant d'indices suggérant l'existence d'un océan souterrain et de sources hydrothermales »,* explique l'astronome Thibault Cavalié, alors que la température en surface chute à -225 °C, la plus basse de tout notre système solaire. Triton est aussi la seule grosse lune connue à tourner dans le sens inverse de celui de sa planète. *« Il s'agit probablement d'un astre issu de la lointaine ceinture de Kuiper, du même type que Pluton, happé par le champ gravitationnel de Neptune »,* explique le chercheur. Pour étudier cet objet fascinant, l'Agence spatiale européenne envisage de construire un atterrisseur de 350 kg qui, bardé d'instruments, serait largué par un orbiteur.

# Les dépanneurs de l'espace

Face à la multiplication des constellations de satellites en orbite, l'envoi de vaisseaux pour le ravitaillement, la réparation ou la désorbitation des engins en fin de vie devient un enjeu majeur.

Posté derrière un écran de contrôle, au cœur de la station géostationnaire, à 36 000 kilomètres d'altitude, un astronaute surveille la manœuvre de ravitaillement d'un satellite de télécommunication. Plus bas, à quelque 300 km au-dessus de la Terre, un robot procède à la désorbitation d'un gros débris de fusée, tandis que dans un autre module de la station, une imprimante 3D produit une pièce de rechange pour un satellite défectueux. Un tel garage spatial n'est presque plus de la science-fiction, toutes les technologies évoquées étant en passe d'être mises en œuvre. À l'heure où des opérateurs privés commencent à déployer des constellations de milliers de satellites, se pose en effet la question de la maintenance de ces engins et de leur désorbitation en fin de vie. Le projet de « garage orbital » développé par une équipe de chercheurs et d'étudiants du laboratoire de concepts spatiaux avancés à École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace (Isae-Supaero) répond précisément à une problématique d'économie circulaire en orbite.



NASA

**Restore-L,** mission expérimentale de la Nasa, doit ravitailler en carburant un satellite en 2021 (vue d'artiste).

Pour Stéphanie Lizy-Destrez, à la tête du programme, *« il s'agit, à l'instar d'un garage automobile, de prolonger la vie des satellites existants plutôt que de les remplacer, à la moindre défaillance, par de nouveaux engins »*. Le concept s'articule autour d'un module central, qui tiendrait lieu d'unité automatisée de fabrication, et auquel serait amarrée une flottille de robots capables de réalimenter les satellites en fin de vie, d'effectuer leur entretien, de collecter les débris pour les recycler, le tout géré par une intelligence artificielle.

UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

**« Il s'agit, à l'instar d'un garage automobile, de prolonger la vie des satellites plutôt que de les remplacer »**

**Stéphanie Lizy-Destrez,** enseignante-chercheuse au Laboratoire de concepts spatiaux avancés de l'École nationale supérieure de l'aéronautique et de l'espace (Toulouse)

## Ravitailler

Si ce garage n'existe encore que sur le papier, la première étape vers une telle station orbitale va être franchie cette année, avec la Mission Extension Vehicle (MEV- 1) de l'entreprise américaine Northrop Grumman. Lancée le 9 octobre 2019, cette dépanneuse d'un nouveau genre fait route vers le satellite de télécommunications Intelsat 901, en orbite géostationnaire depuis 2001 et désormais à court de carburant. Après une manœuvre d'amarrage, elle prendra en charge les fonctions de contrôle d'orbite et d'altitude durant cinq à sept années supplémentaires, à l'issue desquelles elle placera le satellite sur l'« orbite cimetière », 300 km plus haut. Un deuxième MEV doit être lancé en fin d'année pour rejoindre un autre vaisseau de la flotte d'Intelsat, tandis que deux Space Drone de la société israélienne Effective Space Solutions s'envoleront avec pour même objectif de prolonger la vie de plates-formes de télécommunications.

De fait, la raison première pour laquelle les opérateurs retirent chaque année des dizaines d'engins de l'orbite géostationnaire est tout simplement le manque de carburant. Problème : *« les satellites actuels ne peuvent pas être ravitaillés directement*, souligne Xavier Roser, responsable des projets futurs chez Thales Alenia Space. *Ce qui explique pourquoi les modules d'extension restent attachés au vaisseau historique afin d'assurer le contrôle de l'altitude et du pointage du système. »*

ESA/DAVID DUCROS

**Space Start,** de Thales Alenia, est un projet de vaisseau multifonction capable à la fois de ravitailler et de réparer des engins spatiaux (vue d'artiste).

## Réparer

En 2021, ce sera au tour de la mission expérimentale Restore-L de la Nasa de procéder en orbite basse à une manœuvre de rendez-vous avec le vieux satellite gouvernemental Landsat-7 à l'aide de capteurs et de deux bras robotiques, en vue de lui transférer du carburant, de tester divers outils de maintenance et de le remonter sur son orbite. L'agence spatiale américaine veut ainsi démontrer la maturité de ces technologies qui devraient être intégrées à ses futures missions. Avec son projet Space Start, l'entreprise franco-italienne Thales Alenia Space développe elle aussi une sorte de « couteau suisse orbital », capable de ravitailler des vaisseaux spatiaux et de les réparer en installant un kit technique qui prendrait le relais des fonctions en panne. Doté d'un bras robotique, il serait également capable d'assurer des tâches de manipulation et de désorbitation. Un premier vol de démonstration est prévu en 2022.

À ce jour, seuls le télescope spatial Hubble et la Station spatiale internationale (ISS) ont été conçus pour être réparés ou améliorés.

**9000**

Le nombre de satellites mis en orbite depuis 1957, dont quelque 3000 hors service qui filent à grande vitesse en orbite basse.

**14 millions d'euros**

La somme dépensée annuellement en manœuvres d'évitement des débris.

Mais avec plus de 400 satellites de communications postés en orbite géostationnaire, le marché des dépanneuses orbitales devrait éclore, d'autant plus que, confrontés au déploiement de constellations concurrentes en orbite basse, certains opérateurs hésitent à se lancer dans la construction de nouveaux engins coûteux. *« À terme, nous devons concevoir des plates-formes avec des éléments prévus pour être remplacés et équipés d'interfaces standards, permettant de brancher de nouveaux instruments et d'échanger des données, à la manière d'un port USB*, indique Xavier Roser. *Pour le ravitaillement en carburant, il faudra développer un point de connexion avec*

MADE IN SPACE

**Archinaut** prévoit d'imprimer en 3D dans l'espace des éléments comme des antennes (vue d'artiste).

TECHNOLOGIE

## Construire des satellites en orbite

Taille et masse des satellites sont aujourd'hui limitées par les capacités d'emport et le carénage des lanceurs. De plus, construire un vaisseau spatial au sol oblige à prévoir des composants capables de résister aux vibrations, aux températures et à l'accélération du lancement, ce qui renforce encore les limitations de masse et de taille. Aussi des industriels réfléchissent-ils aux possibilités de construction en orbite. C'est le cas de l'entreprise californienne SSL et de son projet Dragonfly soutenu par la Nasa. Ce robot doté d'un bras articulé de 3,5 mètres sera capable d'installer avec précision une antenne ou d'assembler en orbite des satellites en kit. Le système intégrera aussi la technologie d'impression 3D, permettant la fabrication automatisée de nouvelles antennes ou réflecteurs de remplacement. En cas de panne, les ingénieurs pourraient retirer à distance le composant obsolète, recycler ses matériaux et le remplacer par son équivalent imprimé. Une technologie également développée pour le projet Archinaut de la start-up américaine Made in Space. Cette dernière a déjà testé dans l'ISS deux générations d'imprimantes, qui ont produit quelque 200 objets depuis 2014. Dragonfly comme Archinaut pourraient à l'avenir servir à construire Gateway, la future station en orbite autour de la Lune, qui doit accueillir ses premiers occupants dès 2025.

▸ *une trappe que l'on peut ouvrir mécaniquement.* » De tels services permettront aux opérateurs de faire évoluer leurs vaisseaux et de moderniser leurs instruments tout au long de leur existence. De nombreux concepts similaires sont en développement dans le monde. L'Américain SSL Loral travaille ainsi avec la Darpa, l'agence de recherche du ministère de la Défense des États-Unis, sur l'engin multifonction RSGS (Robotic Servicing of Geosynchronous Satellites). Prévu pour être lancé en 2021, ce « camion de dépannage spatial » devrait effectuer des années durant des interventions d'inspection, de réparation, de ravitaillement et de repositionnement sur près de 30 engins en orbite géostationnaire.

### Nettoyer

L'industriel européen Airbus a de son côté développé un projet de *space-tug*, un remorqueur spatial capable notamment de transférer un satellite de l'orbite basse à l'orbite géostationnaire. « *Mais ce marché n'a pas émergé* », constate Philippe Watillon, responsable des services en orbite chez Airbus Ce dernier mise désormais sur le nettoyage des orbites. Dans cette perspective, les satellites de la constellation OneWeb sont déjà pourvus de poignées pour faciliter leur éventuelle récupération par des bras robotisés. « *Mais qui sera le premier client de ce service*, s'interroge Philippe Watillon ? *Les débris qui n'appartiennent à personne ne seront pas récupérés. Quant aux gros débris, ils sont souvent la priorité d'États, qui ne vont pas s'imposer l'obligation de les désorbiter.* » La question se posera différemment pour les nouveaux opérateurs de méga-constellations, dont les satellites *low cost* auront un taux de défaillance plus élevé. « *On risque de se retrouver avec des engins dangereux sur des orbites encombrées. Mieux vaudra alors payer pour nettoyer l'orbite que d'éviter constamment les collisions.* » En 2019, Airbus a déjà testé les techniques du filet et du harpon pour attraper des débris depuis sa plate-forme RemoveDebris.

Enfin, la notion de service spatial ne s'arrête pas à l'orbite terrestre. Airbus planche sur Moon Cruiser, un remorqueur réutilisable destiné à desservir la surface lunaire depuis la future station américaine Gateway. L'engin réutilisera des technologies de l'ATV, le véhicule automatique de transfert européen développé pour transporter du fret vers l'ISS. Projets et nouveaux concepts devraient se multiplier au cours de la prochaine décennie. ■ **Sylvie Rouat**

@srouat1





# L'hydrogène métallique à portée de main

Maîtriser cette transformation permettrait de mieux comprendre ce qui se passe au cœur des planètes géantes telles Jupiter et Saturne mais aussi de stocker des quantités énormes d'énergie.

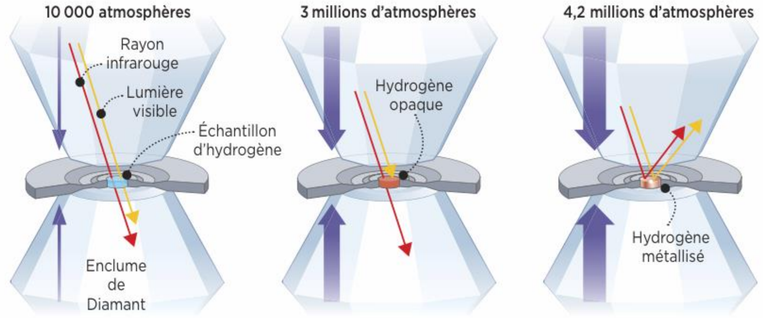
Transformer un gaz hydrogène en métal : un vieux rêve de physiciens… que trois chercheurs français seraient parvenus enfin à concrétiser ! Paul Loubeyre et Florent Occelli, du Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA), et Paul Dumas, chercheur au synchrotron Soleil de Saclay, auraient réussi cette prouesse expérimentale grâce à un nouveau type d'enclume exerçant des pressions titanesques. « *Tout indique que nous avons observé cette transition tant attendue au cours de laquelle l'hydrogène se transforme en un métal extrêmement dense* », explique Paul Loubeyre. Avec à la clé, plusieurs applications remarquables. Car ces travaux permettraient de mieux comprendre ce qu'il se passe à l'intérieur des planètes géantes comme Jupiter et Saturne. Mais aussi, grâce à sa très grande densité, de pouvoir stocker des quantités phénoménales d'énergie, pour la propulsion spatiale notamment.

L'existence de l'hydrogène métallique a été prédite dès 1935 par le théoricien hongrois et futur prix Nobel Eugene Wigner. Il supputait alors qu'à une pression très élevée (250 000 atmosphères), l'hydrogène perdrait son caractère moléculaire et isolant habituel en réorganisant sa structure : les protons et électrons qui le constituent seraient totalement dissociés et formeraient un treillis compact où les électrons circuleraient librement. Des calculs ultérieurs plus précis ont montré que cette métallisation s'opérerait en fait à une pression de dix à quinze fois plus importante — soit du même ordre que celle qui règne au centre de la Terre ! Il faudra attendre les années 1980 pour que des dispositifs appelés « cellules à enclumes de diamant » impriment des forces de cet ordre. Depuis lors, plusieurs équipes ont tenté de former de l'hydrogène métallique avec ces mâchoires en cristal de carbone. En vain, le seuil des 4 millions d'atmosphères étant notamment impossible à franchir. Or c'est précisément dans cette gamme que l'hydrogène métallique semblait pouvoir se former…

BRUNO BOURGEOIS

EXPÉRIENCE

## Comment l'hydrogène monte en pression




**L'échantillon** d'hydrogène est d'abord transparent à la lumière visible et infrarouge lorsqu'une pression commence à être exercée avec des enclumes de diamant (à gauche). À 3 millions d'atmosphères, il absorbe la lumière visible et devient opaque (au milieu). À 4,2 millions d'atmosphères, il réfléchit à la fois à la lumière visible et infrarouge, signe que l'hydrogène se serait métallisé (à droite).

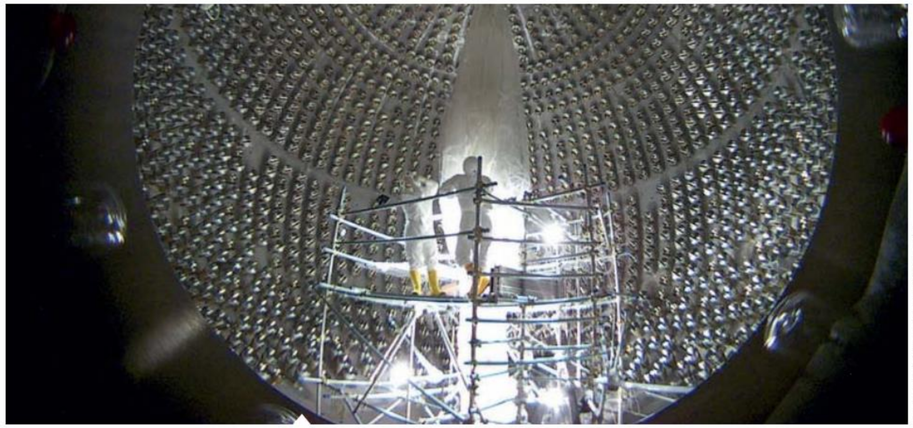
### Bientôt d'autres éléments de preuve

Pour dépasser cette limite, les physiciens français ont façonné des mâchoires de forme toroïdale avec des faisceaux d'ions. « *C'est comme si nous avions une petite enclume enchâssée dans une grosse* », explique Paul Loubeyre. Ce qui permet de comprimer des échantillons à des niveaux inégalés. Et à 4,2 millions d'atmosphères, victoire ! Les chercheurs ont constaté que l'hydrogène réfléchissait subitement les rayons infrarouges, signe que les électrons interagissaient alors différemment avec la lumière et circulaient librement. « *Il s'agit d'une preuve indirecte* », reconnaît Paul Loubeyre, la conductivité électrique n'ayant pas pu encore être mesurée. Mais les physiciens savent désormais à quelle pression le phénomène apparaît ! « *Notre groupe et d'autres équipes internationales produiront très prochainement d'autres preuves*, annonce le physicien. *Ainsi que des informations sur les propriétés de cet étrange matériau.* » À l'évidence, l'hydrogène métallique s'apprête enfin à dévoiler ses secrets. ■ **Franck Daninos**

@fdaninos

# Le message des géoneutrinos

La capture de ces particules permet d'établir que les éléments radioactifs du manteau terrestre dégagent une chaleur équivalente à... 40 000 centrales nucléaires.



ISTITUTO NAZIONALE DI FISICA NUCLEARE

**Le détecteur Borexino,** installé dans le laboratoire souterrain du Gran Sasso en Italie, a réussi à détecter 53 neutrinos provenant de l'intérieur de la Terre.

Ils sont 53 ! Ces précieux neutrinos, en provenance de l'intérieur de la Terre, ont été captés entre décembre 2007 et avril 2019 par le détecteur Borexino, une gigantesque installation sphérique de 14 mètres de diamètre enfouie à 1400 m de profondeur sous le massif du Gran Sasso, dans la région des Abruzzes, en Italie. Ces géoneutrinos — particules émises à chaque désintégration radioactive — confirment la présence d'éléments radioactifs dans toute la planète et permettent d'estimer, pour la première fois de manière directe, la chaleur qu'ils dégagent : entre 25 et 51 TW (térawatts) soit... environ 40 000 centrales nucléaires ! De quoi garantir l'activité sismique, volcanique et géologique de la planète Terre durant encore quelques milliards d'années...

L'information intéresse tout particulièrement les géophysiciens. Jusqu'au début du xxe siècle, la radioactivité était inconnue. On estimait à l'époque que la Terre évacuait progressivement la chaleur héritée de sa formation. C'est au tournant du xxe siècle que Marie Curie, Pierre Curie et Henri Becquerel découvrent la radioactivité naturelle des minéraux et la chaleur de la désintégration de leurs éléments. « *La chaleur originelle ne peut expliquer à elle seule l'activité de la Terre*, précise Claude Jaupart, de l'Institut de physique du globe à Paris. *Depuis la formation de la planète, il y a 4,56 milliards d'années, c'est la désintégration des éléments radioactifs comme l'uranium ou le thorium qui apporte la chaleur nécessaire au maintien de l'activité géologique.* » D'où l'importance d'estimer sa valeur.

## Une condition qui permet à notre planète d'être active

« *Les géoneutrinos fournissent une information directe malgré les difficultés de l'expérience qui expliquent la grande imprécision des mesures* », explique Claude Jaupart. L'échantillon est certes minuscule, car le neutrino a la particularité d'interagir très peu avec la matière : environ une particule sur 10 milliards ! Mais l'équipe de Borexino a pu estimer la chaleur due à la radioactivité terrestre. « *Les 25 à 51 TW ainsi produits sont à comparer à la chaleur totale dégagée par le globe, obtenue à partir d'un ensemble de mesures de surface, soit environ 46 TW* », poursuit le géophysicien. Or, si la Terre est une planète active et hospitalière, c'est parce qu'elle continue à évacuer sa chaleur, « *ce que confirme ce résultat, puisque la chaleur totale évacuée est supérieure à la production, ce qui est aussi confirmé par l'étude des laves* ».

Reste la question cruciale de la vitesse de refroidissement de la planète : à quelle échéance aura-t-elle évacué toute son énergie ? Difficile de répondre, « *car continents et océans n'évacuent pas la chaleur de la même manière*, dit Claude Jaupart. *Mais la connaissance de l'activité radiogénique en est la première étape.* » ■

**Azar Khalatbari**



ÉVÉNEMENT 2020
EXPOSITION UNIVERSELLE DUBAI

SCIENCES ET AVENIR
Challenges

CROISIÈRE
LA MAGIE DES EMIRATS

10 JOURS / 7 NUITS
DU 12 AU 21 NOV. 2020
A BORD DU COSTA DIADEMA

**Sciences et Avenir vous convie à une croisière unique, à l'occasion de l'exposition universelle de 2020 à Dubai.**

L'événement promet en effet d'être sans précédent, et pas seulement parce qu'il s'agit d'une première dans la région Moyen-Orient, Afrique, où 180 pays se retrouveront ainsi rassemblés. Son thème, qui appelle à **« Construire le futur »** est en parfaite résonance avec la ligne éditoriale de Sciences et Avenir. Il projette en effet dans l'avenir, avec toutes les interrogations majeures du présent : quelles sciences (climatologie, génétique, intelligence artificielle...) pour assurer une économie et une société durables ? Quelles nouvelles technologies pour la mobilité, entre avions, fusées mais aussi trottinettes ! Quelles opportunités nouvelles voyons-nous surgir ? Notre futur promet d'être, en effet, celui que nous voulons bâtir, fort de nos héritages, mais aussi en phase avec la modernité. Ici, l'invitation à « connecter les esprits ». Ces promesses d'avancées, nous les analyserons avec des scientifiques, des économistes, des spécialistes de géopolitique et de nouvelles technologies, de très haut niveau. Et ce, lors d'une croisière étonnante, faisant étape à Dubai et au Pavillon Français de l'Exposition Universelle, mais aussi à Abu Dhabi et son musée du Louvre, construit par l'architecte Jean Nouvel, ou encore en visitant la Rose des Sables, musée du Qatar à Doha... Des découvertes et des rencontres passionnantes en perspective.

**Dr Dominique LEGLU**
*Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir*

AVEC VOUS À BORD !
Les conférenciers

**Mikaa MERED**
Professeur de géopolitique, observateur et analyste des Emirats Arabes, spécialiste des pôles et de l'hydrogène.

**Marie-Christine de WARENGHIEN**
Incontournable pour les architectours à Dubai & Abu Dhabi.

AU DÉPART DE PARIS
Doha
Dubai
Abu Dhabi
Mascate

- 1 JOUR À L'EXPOSITION UNIVERSELLE DE DUBAI
- ENTRÉES FAST TRACK
- VISITE DU PAVILLON FRANÇAIS
  Conférence et cocktail dînatoire (sous réserve de confirmation)
- EXCLUSIVITÉ : L'ARCHITECTOURS À DUBAI ET ABU DHABI.
  Présence de votre spécialiste Marie-Christine de WARENGHIEN
- VISITE GUIDÉE MUSÉE DU LOUVRE ABU DHABI
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA MOSQUÉE D'ABU DHABI,
  assistez au coucher du soleil, illuminations le soir
- VISITE DU PALAIS PRÉSIDENTIEL À ABU DHABI
- VISITE DU MUSÉE LA ROSE DES VENTS À DOHA
  Œuvre de Jean Nouvel
- VISITE DE LA BURJ EL KHALIFA
  LA TOUR LA PLUS HAUTE DU MONDE À DUBAI
- BOISSONS À TABLE INCLUSES ET FORFAIT SÉJOUR À BORD
...

À PARTIR DE
2 750 €/PERS.
Au départ de Paris - En tout inclus

RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :
BLEU VOYAGES
213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON
TÉL. 04 72 76 75 66
www.challenges2020.fr

Selectour Bleu Voyages Costa

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 € • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

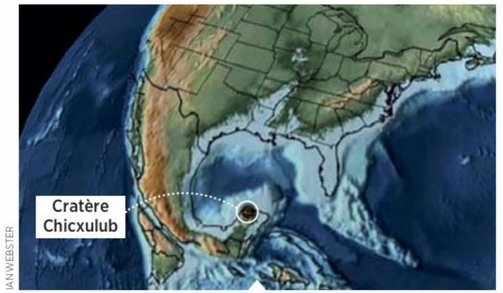
Crédit photo : Thinkstock iCOD - Expo 2020 Dubai

# Le dernier jour des dinosaures

Grâce à des carottages et à l'analyse de fossiles, les chercheurs peuvent dérouler avec une précision inédite les conséquences de la chute de la météorite qui a conduit à l'extinction de nombreuses espèces il y a 66 millions d'années.

**Par Hugo Jalinière** @HugoJaliniere

**L'obscurité provoquée par la poussière** éjectée dans l'atmosphère à la suite de l'impact a joué un rôle capital dans la disparition des dinosaures.




IAN WEBSTER

**L'impact de la météorite** situé dans le golfe du Mexique sur une carte qui montre la géographie d'il y a 66 millions d'années (en noir les traits de côte actuels du Mexique et des États-Unis).

L'énorme météorite de 12 kilomètres de diamètre trace une ligne de feu dans le ciel avant de s'écraser en pleine mer à 30 kilomètres au large de ce qui forme aujourd'hui la péninsule du Yucatán (Mexique, Guatemala et Belize). C'était il y a 66 millions d'années. L'impact est apocalyptique ! Sous le choc, l'astre se vaporise, laissant un trou béant de plus de 100 km de diamètre et 30 km de profondeur. Le souffle de l'impact est phénoménal, provoquant de colossales ondes sonores : dans un rayon de plusieurs centaines de kilomètres dans l'actuel golfe du Mexique (Mexique, États américains du Texas, de l'Alabama, du Mississippi, etc.) tout est instantanément carbonisé, plantes et animaux. Un gigantesque nuage de poussière se soulève aussitôt obscurcissant peu à peu le ciel sur des milliers de kilomètres. Une minute après l'impact, une vague de 1,5 km de haut vient s'abattre sur les côtes les plus proches, emportant tout sur son passage. Trois minutes plus tard, les roches liquéfiées, telles des ondes concentriques créées par la chute d'une pierre dans un lac, remontent des profondeurs de la croûte terrestre et forment en quelque 30 minutes les contours définitifs du cratère, soit un cercle de 180 km de diamètre entouré de deux chaînes montagneuses concentriques.

> « Les pluies mortelles de tectites, fragments de roches fondues, sont tombées jusque dans le nord du Canada »
>
> **Joanna Morgan,** professeure de géophysique à l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni)

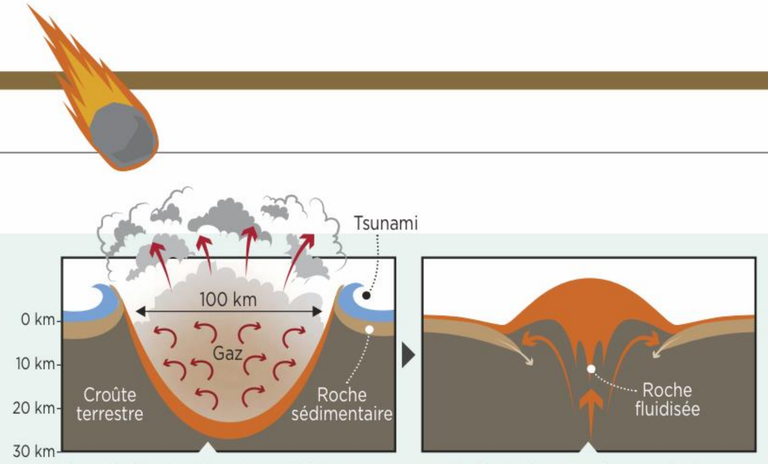
Durant l'heure qui suit, des milliards de tectites, ces fragments de roche fondue propulsés dans les airs, refroidissent et retombent en un déluge de billes brûlantes, tuant la quasi-totalité des êtres encore vivants situés dans un rayon de 5000 km autour du cratère et allumant de gigantesques incendies sur ce qu'il peut rester de végétation. 75 % des espèces animales, dont la majorité de celles de dinosaures, seront anéanties à court et moyen terme par ce cataclysme.

### 325 milliards de tonnes de soufre éjectées

Si ce scénario dantesque, dont les grandes lignes étaient théorisées depuis les années 1980 avec les travaux de Walter Alvarez (Berkeley, États-Unis), peut désormais être déroulé avec une précision inédite, c'est grâce à plusieurs études dont les résultats ont été publiés récemment. « *Je vais pouvoir complètement remodeler mon cours sur l'extinction des dinosaures !* », se réjouit même Ronan Allain, maître de conférences au Centre de recherche en paléontologie (CNRS-MNHN) à Paris. La chronologie des premiers instants de l'extinction dite K-Pg (crétacé-paléogène) se dessine désormais à la minute près. Cela a commencé par l'analyse des entrailles du fameux cratère de Chicxulub. En 2016, « L'expédition 364 », une équipe internationale de 364 géoscientifiques, réalise pour la première fois des carottages de roches en pleine mer sur 1500 m de profondeur sur le site. « *Nous avons pu analyser les roches sédimentaires qui se sont déposées immédiatement après l'impact*, précise Joanna Morgan, professeure de géophysique à l'Imperial College de Londres (Royaume-Uni) et codirectrice de l'expédition. *Le granit que nous avons foré s'effritait presque dans*

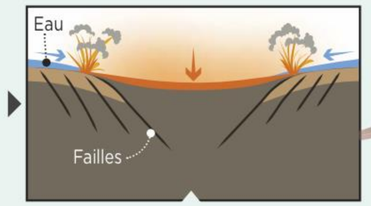


MARK STEVENSON/STOCKTREK IMAGES/AKG IMAGES

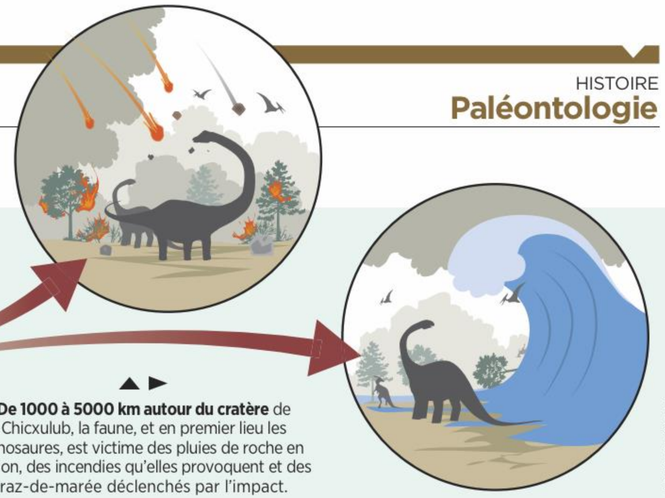



**T + 1 min.** L'astéroïde est vaporisé dans l'atmosphère au moment de l'impact. Le choc crée un profond cratère et provoque un tsunami.

**T + 3 min.** Sous la puissance du choc, la croûte terrestre fluidisée « rebondit » et déclenche une série de puissants séismes.




**T + 30 min.** Les remous s'estompent et la surface du cratère s'aplanit. De l'eau reflue sur la roche en fusion, nourrissant des panaches de gaz.



**De 1000 à 5000 km autour du cratère** de Chicxulub, la faune, et en premier lieu les dinosaures, est victime des pluies de roche en fusion, des incendies qu'elles provoquent et des raz-de-marée déclenchés par l'impact.

BRUNO BOURGEOIS

CHRONOLOGIE

## Les premiers instants du cataclysme

**L'étude du cratère de Chicxulub et d'autres sites révèle les tout premiers instants de la grande extinction du crétacé, parfois à la minute près.**

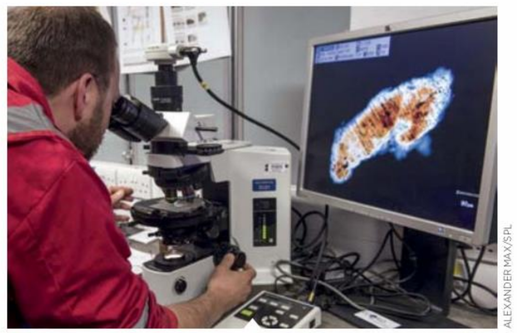
*nos mains alors qu'il est particulièrement solide en principe. Ce qui signifie qu'avec la chaleur, mais aussi du fait des ondes sismiques et sonores gigantesques produites par l'impact, la roche s'est "fluidisée".* » C'est ainsi que les chercheurs ont déterminé que la croûte terrestre, liquéfiée, a « rebondi » d'environ 25 km à la surface en une trentaine de minutes. Autre surprise, cachée dans les échantillons de sédiments : « *Nous avons constaté une disparition quasi totale dès les premières minutes du gypse et du soufre au point d'impact, lesquels comptaient pourtant pour environ un tiers de la couche sédimentaire. Ce qui signifie que le volume de gaz expulsé dans l'atmosphère a été bien plus important que ce qu'on pensait* », explique Philippe Claeys, géochimiste à la Vrije Universiteit de Bruxelles (Belgique), coauteur de l'étude. Au total, ce sont finalement plus de 325 milliards de tonnes de soufre qui ont été éjectées ! « *Ce qui permet de mieux comprendre ce qui est arrivé aux dinosaures*, commente le paléontologue Éric Buffetaut, directeur de recherche CNRS et membre du Laboratoire de géologie de l'École normale supérieure. *Ces observations montrent sans plus de doute possible que l'obscurité provoquée par la "poussière" éjectée dans l'atmosphère a bien joué un rôle capital dans leur disparition.* » L'épais nuage a masqué les rayons du Soleil pendant quelques jours à plusieurs semaines, provoquant une chute des températures ainsi « *qu'un arrêt de la photosynthèse, le dépérissement de la végétation et l'effondrement des chaînes alimentaires* », rappelle le spécialiste. Même si le scénario montre également que le coup le plus dur a été porté dès les premières minutes après l'impact, « *lorsque les pluies mortelles de tectites sont tombées jusque dans le nord du Canada et que des sphérules plus petites ont été éjectées tout autour du globe avant de retomber* », précise Joanna Morgan.

### À 3050 km de l'impact, une scène d'apocalypse

En 2019, une autre équipe, dirigée par Robert DePalma, de l'université du Kansas (États-Unis), a quant à elle dévoilé un nouveau gisement de fossiles qui permet d'en savoir plus sur ce qui s'est passé à l'intérieur des terres. Situé dans la Dakota du Nord (États-unis), le site de Tanis se trouvait alors à 3050 km du point d'impact, au bout d'un golfe pénétrant le territoire américain du sud vers le nord *(voir la carte p. 54)*. Les premiers résultats publiés dans la revue *PNAS* montrent que les animaux retrouvés fossilisés sont morts dans les 15 minutes qui ont suivi l'impact. Les chercheurs ont même décelé les traces de trois secousses sismiques s'étant produites 6, 10 puis 13 minutes après la chute de l'astéroïde, correspondant à trois couches de sédiments distincts. Signe du désastre, un enchevêtrement de poissons d'eau douce, de vertébrés terrestres, d'arbres et d'autres créatures marines y a été compacté. Des sphérules ont été retrouvées... jusque dans les branchies des poissons, probablement morts asphyxiés selon les chercheurs. À ceux qui savent le lire, le site révèle cette scène d'apocalypse où la pluie de billes de verre s'est accompagnée d'un raz-de-marée remontant le golfe et inversant le courant du fleuve au bout duquel se trouvait Tanis. Les poissons d'eau douce fossilisés ont ainsi été retrouvés couchés dans le même sens par la puissance des flots et rapidement recouverts *(voir aussi* S. et A. *n° 867, mai 2019)*.

Autre phénomène meurtrier mieux compris désormais, le tsunami déclenché une minute après l'impact. Une équipe de paléo-océanographes de l'université du Michigan (États-Unis) a ainsi réalisé la première modélisation de l'impact de Chicxulub sur les océans en tenant compte de la géographie d'il y a 66 millions d'années. Si la vague initiale qui s'abat sur les côtes du golfe du Mexique représente un « mur » de 1,5 km de haut, elle se répand tout autour du globe et les flux et reflux se poursuivent durant plus de deux jours. « *En comparaison du tsunami mortel de décembre 2004 dans l'océan Indien, le plus fort enregistré à ce jour, celui de la crise K-Pg était 2600 fois plus puissant* », écrivent les chercheurs. Le site de Tanis en aurait ainsi fait les frais. « *C'est une zone extraordinaire, d'autant plus qu'elle se trouve à l'endroit même où vivaient les tyrannosaures, notamment en bord de golfe. Mais l'exploitation de Tanis n'en est qu'à ses débuts* », prévient Ronan Allain. Il demeure cependant quelques mystères sur le scénario du premier jour de la crise K-Pg. Quelle est la proportion des espèces qui ont disparu dès les premières 24 heures, victimes directes de l'impact ? « *C'est impossible à calculer parce que nous n'avons pas retrouvé pour l'heure de gisement en Europe datant de cet impact, et très peu en Asie* », explique Ronan Allain. Quant aux animaux qui ont survécu à l'impact lui-même, en combien de temps sont-ils morts ensuite ? « *C'est dur à admettre pour certains paléontologues, mais je pense vraiment que cela s'est fait en quelques mois, quelques années au maximum*, assure Éric Buffetaut. *Si la rupture des chaînes alimentaires provoquée par l'obscurité et le froid avait duré plus longtemps, des centaines ou des milliers d'années, toute vie aurait disparu.* »

**LE + NUMÉRIQUE**
Les modélisations vidéo du tsunami montrent qu'il a déferlé sur tous les océans du globe pendant deux jours : **sciav.fr/877Dinos**



ALEXANDER MAX/SPL

**L'analyse de roches** provenant du carottage sur 1500 m de profondeur du cratère a permis d'affiner le scénario de la catastrophe.

### 700 000 ans pour atteindre le poids d'un loup

Après le cataclysme, les plus grands animaux restant ne pèsent toutefois pas plus de 500 grammes, parmi lesquels les dinosaures aviens qui donneront naissance aux oiseaux. Et la vie aurait rapidement retrouvé son chemin selon une étude publiée dans *Science* en octobre 2019. L'examen d'une collection unique de milliers de fossiles de plantes et de mammifères datant du premier million d'années post-crise, provenant d'un site du Colorado (États-Unis), révèle ainsi qu'il a suffi de 300 000 ans pour que des animaux pèsent environ 25 kilos et 700 000 ans pour qu'ils atteignent 50 kilos, le poids d'un loup. Le règne des mammifères avait commencé. ■

GÉOCHIMIE

## Des écosystèmes déjà fragilisés par le volcanisme

Si l'impact de l'astéroïde, il y a 66 millions d'années, a précipité l'extinction de 75 % des espèces vivantes, la Terre était déjà soumise auparavant à un stress intense dû à un volcanisme massif qui a largement contribué à fragiliser les espèces vivantes. L'importance du phénomène relevé dès les années 1980 par le Français Vincent Courtillot a fait l'objet de nombreux débats, certains le jugeant anecdotique par rapport au rôle de l'astéroïde. Mais une équipe de géochimistes de la Northwestern University, à Chicago (États-Unis), a analysé des coquilles fossiles d'escargots de mer et de palourdes datant d'avant la crise du crétacé-paléogène. Les différentes couches des coquilles révèlent une évolution rapide des changements climatiques et atmosphériques dus au gigantesque volcanisme de la région des trapps du Deccan, à l'ouest de l'Inde. À partir de -68 millions d'années, des tonnes de lave se sont déversées dans cette zone. La composition en isotopes du calcium des coquilles retrouvées en Antarctique révèle une forte concentration de $CO_2$ dans l'atmosphère et les océans ainsi qu'un réchauffement global de la planète de l'ordre de 3 °C à 5 °C dû à l'éjection massive de dioxyde de carbone et de soufre par les volcans. « *L'impact de l'astéroïde coïncide avec une instabilité préexistante du cycle du carbone sur la planète* », précise Andrew D. Jacobson, de la Northwestern University. « *En réalité, ce vieux débat volcanisme/météorite ne sera jamais complètement tranché* », conclut Ronan Allain, du Centre de recherche en paléontologie, à Paris.

# L'archéologie sait décrypter les scènes de crime

Des magistrats et avocats sont persuadés que les techniques de fouilles développées par les archéologues pourraient être utilisées efficacement dans des enquêtes criminelles. En France, reste à convaincre les autorités judiciaires.

Sabine Khéris se souviendra longtemps de cette journée de 2018. Venue superviser la recherche de restes humains sur une éventuelle scène de crime, la doyenne des juges d'instruction du tribunal judiciaire de Paris se voit conseiller les services d'un expert d'un nouveau genre. *« Sur place, un anthropologue de l'Institut de recherche criminelle de la gendarmerie nationale m'a suggéré de faire appel à un archéologue »*, se souvient-elle. Pourquoi pas ? À peine arrivé sur le terrain, Patrice Georges, archéo-anthropologue en charge de la cellule d'intervention sur les structures archéologiques profondes à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap), rend son verdict. *« Il nous a dissuadés de creuser là où nous pensions le faire car nous n'étions pas au bon endroit, nous évitant ainsi une grande perte de temps et d'argent. La terre parle et l'archéologue sait la comprendre »*, se souvient la magistrate.

Convaincue que l'archéologie n'est pas uniquement une science capable de décrypter le passé, Sabine Khéris se fixe un objectif : faire davantage collaborer experts judiciaires et archéo-anthropologues sur les scènes de crime. Fin novembre 2019, sous l'impulsion de l'Inrap, elle a coprésidé le premier colloque sur ce thème au tribunal de grande instance de Paris. Et proposé à l'ensemble des juges d'instruction et magistrats du parquet d'être désormais formés aux techniques archéologiques tandis qu'un enseignement spécifique serait dispensé aux futurs magistrats formés à l'École nationale de la magistrature (ENM).

PASCAL PAVANI/AFP

**Des militaires** du 17e régiment du génie parachutiste de Montauban sont formés aux techniques archéologiques par l'Inrap.

Aussi surprenant que cela puisse paraître, les restes humains découverts quelque part en France, quel que soit leur état, ne sont pas laissés sur place pour être délicatement dégagés à petits coups de truelles et pinceaux, comme le font les archéologues après étude des couches géologiques. Ils sont systématiquement collectés par les enquêteurs et aussitôt expédiés au laboratoire du médecin légiste. Lui seul peut alors décider de faire appel à l'expertise d'un anthropologue. Dans les cas où ce dernier est sollicité, il reçoit tous les os « en vrac », dans des sacs, sans respecter donc la position dans laquelle ils reposaient sous terre. Il n'en va pas de même dans d'autres pays, en particulier aux États-Unis, au Royaume-Uni, aux Pays-Bas et en Belgique, où l'anthropologie judiciaire — qui regroupe l'archéologie et l'anthropologie appliquées à l'identification des restes humains — est une discipline bien plus sollicitée.

> « La terre parle et l'archéologue sait la comprendre »
>
> **Sabine Khéris,** doyenne des juges d'instruction du tribunal judiciaire de Paris

## Cerner le déroulement des événements

*« Nous sommes capables de comprendre ce qui s'est passé sur des sites vieux de plusieurs milliers d'années, alors nous pouvons sans trop de difficultés, quand les éléments le permettent, cerner le déroulé des événements survenus sur des scènes de crimes âgées de dix ou vingt ans ! »*, affirme Patrice Georges, moteur de ce rapprochement archéologie-justice en France. En région Occitanie, il mène ainsi depuis plusieurs années des actions de sensibilisation. *« Je publie des articles scientifiques et j'interviens auprès des services de police et de justice afin de leur montrer tous les avantages qu'il y aurait à collaborer,* confie-t-il. *Il arrive en effet que trop de temps se soit écoulé depuis la disparition d'une victime pour espérer localiser sa dépouille avec des chiens. En réalité, dès que quelque chose a été enterré, on peut considérer que les moyens de l'archéologie peuvent être employés. »*

CREDIT MARCO DI LAURO/GETTY IMAGES

**Les archéoanthropologues** sont déjà sollicités depuis de nombreuses années sur des scènes de crime de guerre (ici en 2005, pour tenter d'identifier les restes mis au jour dans un charnier à Srebrenica, en Bosnie-Herzégovine).

Ses efforts commencent à porter leurs fruits : Patrice Georges est l'un des rares archéoanthropologues à être régulièrement sollicité par la cour d'appel de Toulouse ou de Montpellier, où ces demandes sont plus fréquentes que partout ailleurs en France. Le scientifique a même été chargé de former à sa discipline la section de fouille opérationnelle spécialisée (FOS) du 17e régiment du génie parachutiste de Montauban, chargée de l'étude des scènes de crime en zone de guerre : observation minutieuse des plantes révélatrices de la présence d'une fosse fraîchement creusée ; « décapage » d'une zone précise en ôtant délicatement la couche végétale pour atteindre les premiers niveaux archéologiques ; « lecture » du sédiment, dont l'aspect change en présence d'un corps en décomposition ; attention portée aux indices de reliefs pouvant correspondre à un corps déposé à la hâte… Autant de méthodes qui restent étrangères aux services d'enquête. *« Elles l'étaient même à la section FOS du 17e RGP, malgré sa spécialité. À terme, toutes les FOS de France, des unités présentes dans chaque régiment du génie, devraient recevoir une formation »*, assure l'archéologue. Aujourd'hui, lui et ce petit groupe ont même mis en place un projet d'expérimentation (nommé « InhumEx ») pour localiser des corps en milieu boisé, un type de terrain inaccessible aux outils de pointe comme le géoradar, en raison de la trop forte densité des racines et reliefs en tout genre.

De l'aveu même de Sabine Khéris, la liste des affaires criminelles dans lesquelles des fouilles archéologiques auraient pu ou pourraient encore changer la donne est longue. La juge sait de quoi elle parle : elle a en charge

PORTRAIT

## Me Corinne Herrmann, pionnière de l'archéologie judiciaire

Spécialisée dans la défense des familles de victimes de meurtre ou de disparition non résolues — les fameux « *cold cases* » — Me Corinne Herrmann a été l'une des premières en France à faire appel au savoir-faire des archéologues pour retrouver des corps. C'était en 1995, dans le dossier du tueur en série Émile Louis, ce chauffeur de car — décédé depuis — condamné à la réclusion à perpétuité pour sept meurtres de jeunes filles dans l'Yonne. « *À l'époque, nous avions réussi à nous procurer un géoradar au Royaume-Uni, mais pour le parquet, il était alors hors de question d'entendre parler d'archéologie judiciaire* », se remémore-t-elle. Émile

JACQUES DEMARTHON/AFP

**L'avocate criminologue Corinne Hermann** plaide pour le recours aux techniques de fouilles spécifiques depuis plus de vingt ans.

Louis passera finalement aux aveux avant que Corinne Herrmann soit parvenue à faire valider l'utilisation de la machine. Mais cinq corps manquent toujours à l'appel. Aujourd'hui, l'avocate songe à avoir de nouveau recours à ces techniques dans une affaire vieille de 35 ans, dans le Vercors. « *Il s'agit du meurtre d'un enfant non identifié dont le crâne a été retrouvé dans une grotte,* explique-t-elle. *Ce cas nous intéresse car nous travaillons actuellement sur la disparition non loin de là d'un autre enfant. Malheureusement, aucune recherche ADN ni aucune reconstitution faciale n'avaient été faites à l'époque et entre-temps, le crâne a été perdu par la justice…* » La famille que défend Corinne Herrmann est pourtant persuadée que le petit crâne de la grotte était celui de son enfant. Pour le confirmer, l'archéologie reste l'unique recours. « *De nouvelles fouilles méthodiques sur le site pourraient peut-être nous permettre d'obtenir des indices : des dents, des fragments d'os…* », espère l'avocate.

le terrible dossier du tueur en série Michel Fourniret pour lequel les enquêteurs cherchent encore le corps de nombreuses victimes. Celui, aussi, de la disparition de la jeune Estelle Mouzin à Guermantes (Seine-et-Marne) en 2003, dont l'enquête s'oriente vers l'implication de « l'ogre des Ardennes ». Elle évoque aussi Olivier Tracoulat, complice du caïd Redoine Faïd, condamné par contumace pour le meurtre d'une policière municipale en mai 2010 et dont les enquêteurs pensent qu'il est mort de ses blessures après la fusillade avec les forces de l'ordre : son cadavre aurait été enterré dans une forêt, mais il n'a jamais été retrouvé.

### Localiser des corps restés introuvables

Patrice Georges a d'autres exemples en tête : le meurtre à Clermont-Ferrand (Puy-de-Dôme) de la petite Fiona, 5 ans, décédée en 2013 sous les coups de sa mère et de son beau-père et dont le corps n'a jamais été retrouvé malgré les longues sessions de fouilles. Ou encore l'affaire Benitez, du nom de ce sous-officier de la Légion étrangère soupçonné d'avoir assassiné sa femme et sa fille puis caché leurs corps près de Perpignan en juillet 2013. « *Il est impossible d'affirmer avec certitude que les corps n'étaient pas là où les enquêteurs les ont cherchés car il n'y a eu aucun décapage de la terre* », indique l'archéologue. Est même évoquée du bout des lèvres l'affaire qui tient encore la France en haleine, près de neuf ans après un quintuple meurtre à Nantes et la disparition de son principal protagoniste : Xavier Dupont de Ligonnès, « *si activement recherché et par tant de polices qu'il y a fort à parier qu'il n'est plus de ce monde. L'archéologie pourra être judicieusement utilisée si les enquêteurs ont un jour des pistes sur sa localisation* », assure Sabine Khéris. D'ici là, l'archéologue sera sans doute devenu un acteur à part entière de l'enquête criminelle. ■ **Marine Benoit**

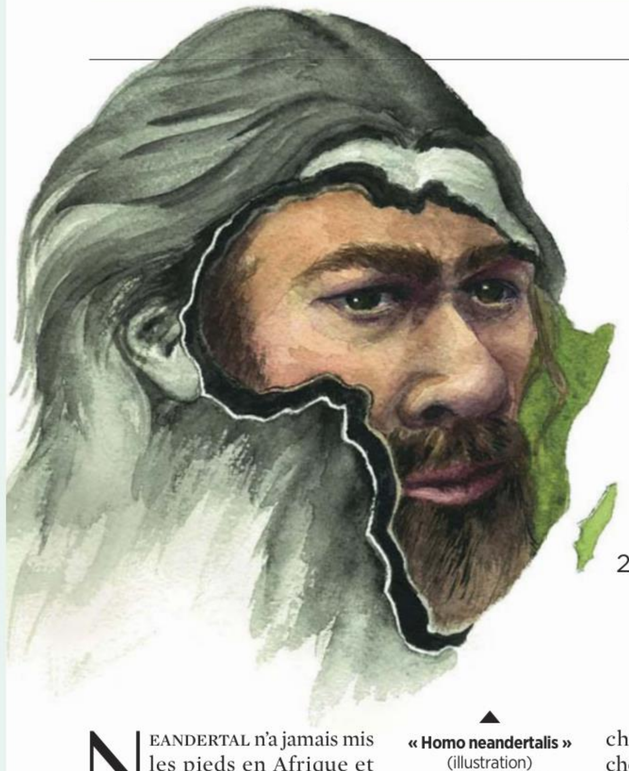
INRAP

« Dès que quelque chose a été enterré, on peut considérer que les moyens de l'archéologie peuvent être employés »

**Patrice Georges,** archéoanthropologue à l'Institut national de recherches archéologiques préventives (Inrap)







MATHILDA LUK

**« Homo neandertalis »** (illustration) a contribué pour 0,3 % au génome des Africains modernes.

# Une part d'ADN néandertalien chez les Africains

Une étude américaine portant sur 2504 génomes suggère que des *Homo sapiens* eurasiens qui s'étaient métissés avec les néandertaliens sont ensuite retournés en Afrique.

Neandertal n'a jamais mis les pieds en Afrique et pourtant on retrouve bien certains de ces gènes chez les Africains d'aujourd'hui. Jusqu'alors, les paléogénéticiens se fondaient sur l'hypothèse qu'aucun métissage n'était intervenu entre les néandertaliens et ces populations, si bien que les génomes de celles-ci pouvaient fournir une base de comparaison « *neutre* ». Depuis 2010, et les travaux sur le génome de notre cousin disparu il y a 40 000 ans, ils estimaient en effet que seules les populations eurasiennes ou d'origine eurasienne (Amérindiens, Océaniens…) avaient hérité de 2 % en moyenne d'ADN néandertalien. L'étude de Joshua Akey et ses collègues de l'université de Princeton (États-Unis), parue dans la revue Cell, bouscule ce scénario trop simple.

Une méthode inédite a permis de tracer l'ascendance néandertalienne dans 2504 génomes. S'appuyant sur une nouvelle méthode informatique (IBDmix) permettant de détecter des séquences d'ADN provenant de métissages chez les hominidés, les chercheurs ont comparé le génome d'une jeune néandertalienne de l'Altaï séquencé en 2013 à 2504 génomes modernes. Ces derniers sont issus du 1000 Genomes Project, un catalogue international incluant cinq sous-populations africaines. Ils ont ensuite calculé la probabilité que chaque tronçon d'ADN soit hérité d'un ancêtre néandertalien. Au final, ils estiment que 0,3 % du génome africain moderne moyen provient des néandertaliens.

### Nul besoin de rencontre directe pour léguer des gènes

Comment des gènes néandertaliens se sont-ils inscrits dans le génome des Africains ? Par le truchement des migrations, les *Homo* ayant toujours eu la bougeotte. Premiers à s'évader du « berceau » africain, il y a 2 millions d'années, les *H. erectus* ont ainsi donné naissance aux néandertaliens d'Europe et d'Asie il y a près de 700 000 ans. Selon l'étude américaine, des *H. sapiens*, sortis à leur tour d'Afrique il y a 200 000 ans, rencontrent alors une première fois ces cousins *neanderthalensis* et leur passent quelques gènes. Puis une nouvelle « sortie » d'Afrique de *sapiens* il y a 140 000 ans, entraîne de nouveaux échanges avec des Neandertal déjà porteurs de gènes d'humain moderne. Enfin, il y a 60 000 ans, une nouvelle vague de *sapiens* acquiert quelques gènes néandertaliens eurasiens… avant de rentrer au bercail africain au cours des 20 000 dernières années ! Là, ces *sapiens* dispersent leur patrimoine génétique ancestral à travers tout le continent, dont on retrouve donc aujourd'hui les traces dans les populations africaines. Il n'y a donc pas besoin de rencontre directe pour léguer des gènes.

Neandertal aurait transmis peu de gènes, mais des gènes clés. Les 17 mégabases (millions de paires de bases) — les « lettres » formant la séquence d'ADN léguées par Neandertal — incluent des gènes liés au système immunitaire ainsi qu'à la protection contre les ultraviolets. Ce qui pourrait expliquer leur sélection et leur survivance au travers des millénaires. ■

**Rachel Mulot** @RachelFleaux

# EPR : les défis et déboires d'un chantier hors norme

Le nucléaire français joue sa survie avec le chantier du réacteur nouvelle génération de Flamanville, dans la Manche, dont des tests décisifs de fonctionnement sont en cours. Retour sur les multiples avanies, pourtant évitables, de ce qui devait être une « vitrine » technologique.

**Par Rachel Mulot** @RachelFleaux

APRÈS TREIZE ANS de série noire, le tout premier vrombissement de la turbine du futur EPR (réacteur européen à eau pressurisée) a dû être doux aux oreilles des ingénieurs d'EDF. Ce n'était qu'un test de fonctionnement ce 8 février, mais réussi : la turbine a atteint sans ratés 1500 tours par minute. Soit la vitesse à laquelle elle tournera lorsque l'EPR de Flamanville (Manche), la plus puissante centrale nucléaire au monde avec sa capacité de 1650 mégawatts (MW), devrait enfin être opérationnel en 2023 après le lancement du chantier en 2007... avec plus de dix ans de retard sur les prévisions. Le chargement du combustible a en effet été reporté à fin 2022, et il faudra encore attendre six mois minimum pour le raccordement au réseau. Si rien ne s'enraye d'ici là ! Après les découvertes successives des défauts majeurs du béton, de l'enceinte, du pont polaire, de l'acier de la cuve et du couvercle ou des tuyauteries *(voir l'infographie pp. 64-65)*, la liste noire pourrait-elle encore s'allonger ? Ce qui ferait flamber une nouvelle fois le coût du chantier qui a déjà plus que triplé, atteignant 12,4 milliards d'euros contre 3,3 milliards estimés en 2006. Ce qui a conduit l'Autorité de sûreté nucléaire (ASN) à fustiger en janvier les « *déficiences industrielles* » et « *le manque de rigueur* » de la filière nucléaire.

**400 000**
tonnes de béton.

**47 000**
tonnes d'armatures.

**1000**
salles dans l'ensemble des bâtiments.

**150 km**
de tuyauteries pour le seul îlot nucléaire.

Qu'est ce qui a déraillé sur le chantier de Flamanville ? Pourquoi les deux EPR de Taishan (Chine) ont-ils démarré moins de dix ans seulement après leur lancement en 2009 pour un coût moitié moindre ? D'abord, les estimations concernant la construction de l'EPR français étaient irréalistes. Les dernières centrales érigées entre 1984 et 1999 dans l'Hexagone (Chooz B dans les Ardennes et Civeaux dans la Vienne), dites de palier N4, ont demandé respectivement douze ans et huit ans de travaux, bien loin des quatre ans et demi promis par EDF pour Flamanville dont la taille et la complexité constituaient pourtant un défi. « *Sa conception tire les leçons des accidents de Three Mile Island (États-Unis) en 1979 et Tchernobyl (Ukraine) en 1986* », rappelle Karine Herviou, directrice des nouveaux réacteurs à l'IRSN (Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire). Sur le papier, l'EPR fait un bond en matière de sûreté, de sécurité et de puissance. Ce que pondère Jean-Martin Folz, polytechnicien et ingénieur des mines, auteur en octobre 2019 d'un rapport sans concessions sur la construction. « *Sur le plan technologique, il n'y a pas à proprement parler d'innovations mis à part le "cendrier récupérateur de corium". Ce qui est présenté comme des nouveautés par EDF et le régulateur français [ASN] concerne des équipements déjà en service sur les réacteurs allemands Konvoi. Il s'agit pour l'essentiel de l'instrumentation du cœur du réacteur — intégralement introduite par le couvercle afin de supprimer les piquages en fond de cuve —, des mécanismes de commande des barres de contrôle et des soupapes du pressuriseur.* » Les Konvoi, mis en service entre 1981 et 1989, sont néanmoins d'une taille et d'une puissance moindres (1300 MW).

CHARLY TRIBALLEAU/AFP

**Le site de Flamanville (Manche),** en 2013. La mise en service, initialement prévue en 2012, surviendra au plus tôt en 2023.

### Pertes de compétences et défauts de gestion

Compulser les rapports d'expertises de l'IRSN, les avis de l'ASN et le rapport Folz donne le vertige. On recense entre décembre 2007 et septembre 2019, au moins 12 problèmes majeurs sur le chantier de l'EPR, les plus dramatiques ayant causé la mort de

JEAN GISSUS/AFP

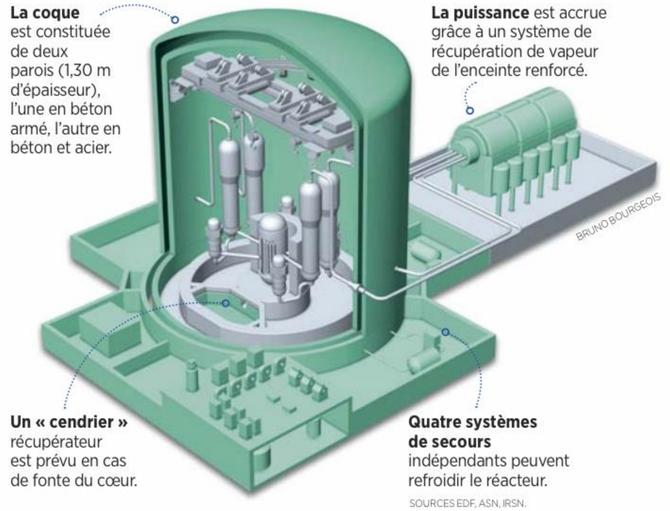
« Les équipements présentés comme des nouveautés étaient déjà en service sur les réacteurs allemands Konvoi »

**Jean-Martin Folz,** ingénieur X-Mines, auteur d'un rapport sur « La construction de l'EPR », à la demande du ministre de l'Économie et des Finances



AMÉLIORATIONS

## Les 4 points forts du projet EPR




SOURCES EDF, ASN, IRSN.

deux ouvriers, imposant l'instauration de nouvelles règles de sécurité. La perte de compétence des industriels, ainsi que les défauts de gestion du projet — un véritable coordinateur n'a été nommé que huit ans après le lancement ! — ont entraîné 4500 demandes de modification en cours d'ouvrage. Flamanville a démarré alors que seulement 10 % des études d'ingénierie, de sûreté (incendie, risque d'agressions…) et de qualifications de matériels étaient achevées ! De sorte que le nombre d'analyses, tests et essais a explosé *a posteriori*. Il n'y a pas eu de recours à l'ingénierie système, une méthode scientifique interdisciplinaire à l'efficacité démontrée pour appréhender les systèmes complexes, et la maquette numérique ne permettait pas une appréciation complète des montages électromécaniques, selon les experts.

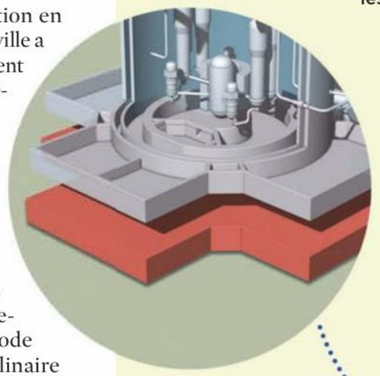
### Un manque cruel de main-d'œuvre qualifiée

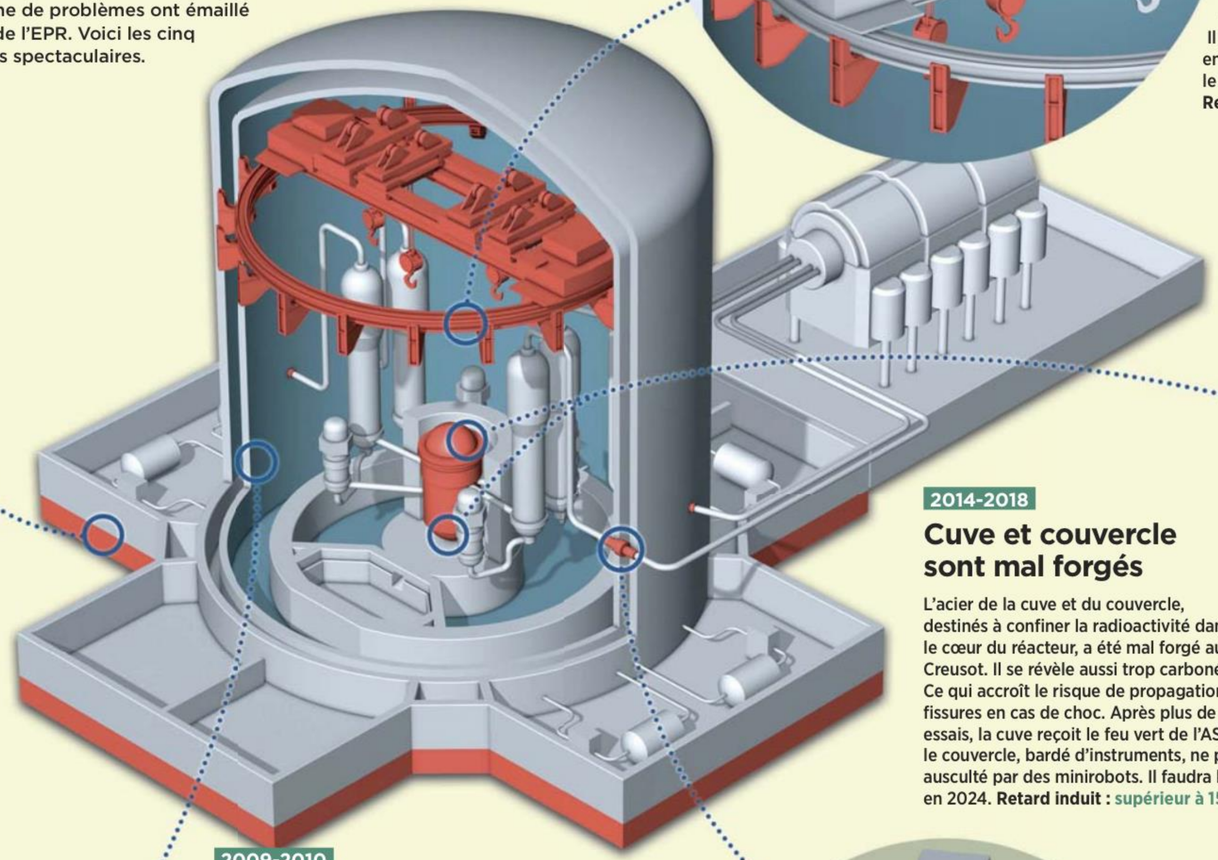
À ce jour, les difficultés soulevées au cours des inspections ne sont pas toutes réglées, le handicap majeur étant le manque de transmission entre générations. Voilà vingt ans qu'une centrale n'a plus été construite en France, alors que les Chinois, qui en ont lancé près d'une trentaine depuis 2010, *« ont une logistique parfaitement en place »*, selon Hervé Machenaud, ancien directeur de la branche Asie d'EDF. Le nucléaire français, et principalement le chaudiériste Framatome responsable de l'usine du Creusot qui a forgé les aciers défectueux de la cuve, manque cruellement de main-d'œuvre qualifiée, notamment de soudeurs sur aluminium ou inox. Au-delà des défis technologiques, c'est le facteur humain qui a paralysé le plus grand chantier de France. ■

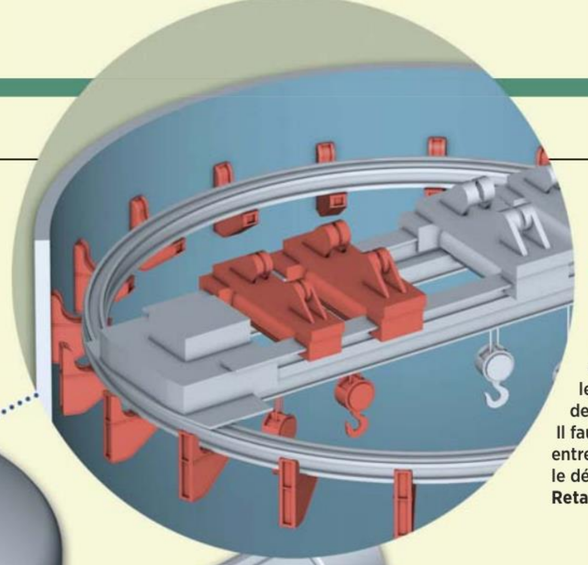
MALFAÇONS

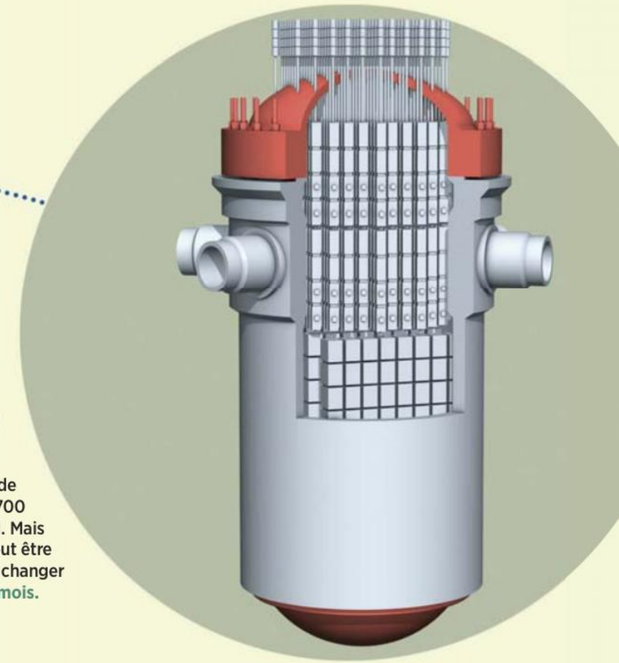
## Cinq incidents graves en cours de chantier

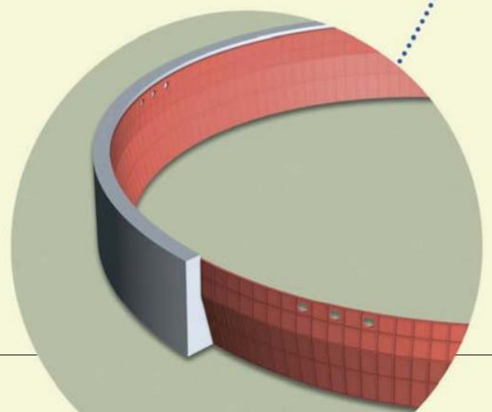
**Plus d'une douzaine de problèmes ont émaillé les travaux de l'EPR. Voici les cinq les plus spectaculaires.**

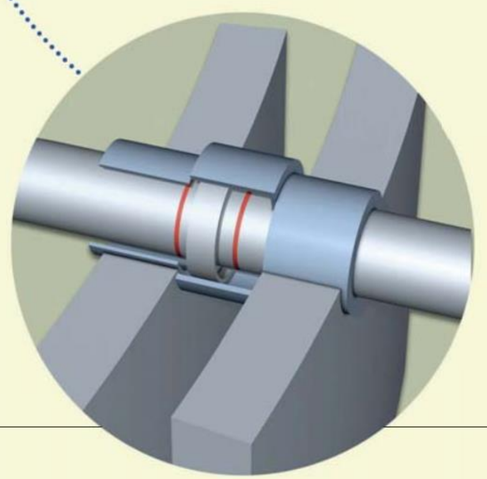












2007-2008

### Le socle de béton se fissure

Les hauteurs et volumes de bétonnage du socle (radier) ont été mal évalués par Bouygues. La prise a été difficile. En outre, les « épingles de liaison » des ferraillages internes du béton armé ont été oubliées, en violation du plan d'exécution, comme l'a révélé un contrôle de l'ASN. Il a aussi fallu combler par injection des bétons mal homogénéisés.
**Retard induit :** plus de 3 mois.

2009-2010

### Le « liner » est mal soudé

La « peau » métallique intérieure, le *liner*, mal soudé, n'est pas plan. Il a été préassemblé à partir de pièces parfois non conformes. L'ASN a relevé un taux de malfaçons de 32 % contre 4 % en moyenne. Dans l'enceinte, les soudeurs ont du mal à atteindre certains endroits, et le soudage des tuyaux qui traverse le *liner*, mal réalisé, nécessite une réparation par de nouveaux intervenants.
**Retard induit :** 11 mois minimum.

2012-2013

### Le pont polaire est trop fragile

Les 46 consoles qui supportent le pont polaire, une grue de 780 tonnes hissée à 60 m de haut pour pouvoir déposer les pièces dans le cœur du réacteur, ont été fabriquées avec de l'acier russe de piètre qualité et de surcroît mal soudées. Il faut tout démonter, faire concevoir les pièces par une nouvelle entreprise avant de les remplacer. L'ASN a aussi demandé le démontage de chariots non conformes sur le pont.
**Retard induit :** largement supérieur à 12 mois.

2014-2018

### Cuve et couvercle sont mal forgés

L'acier de la cuve et du couvercle, destinés à confiner la radioactivité dans le cœur du réacteur, a été mal forgé au Creusot. Il se révèle aussi trop carboné. Ce qui accroît le risque de propagation de fissures en cas de choc. Après plus de 1700 essais, la cuve reçoit le feu vert de l'ASN. Mais le couvercle, bardé d'instruments, ne peut être ausculté par des minirobots. Il faudra le changer en 2024. **Retard induit :** supérieur à 15 mois.

2017-2019

### Les soudures des tuyauteries se révèlent défectueuses

Les soudures du réseau de tuyaux entre le circuit secondaire et le générateur de vapeur sont défectueuses ou n'ont pas les qualités d'un matériel qui devrait exclure toute rupture. EDF en a réparé une cinquantaine. Restent huit soudures difficiles d'accès, car elles traversent l'enceinte. L'ASN refuse de les laisser en l'état. Pour ne pas tout casser, EDF teste actuellement des minirobots pour consolider les tuyauteries de l'intérieur.
**Retard induit :** plusieurs mois.

SOURCES : IRSN, ASN, RAPPORT FOLZ, WISE, AREVA/FRAMATOME, EDF.

INFOGRAPHIES : BRUNO BOURGEOIS POUR SCIENCES ET AVENIR

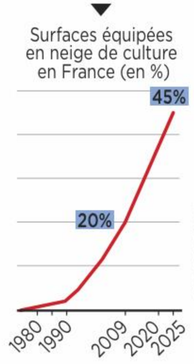
# Neige artificielle, dérapages en série

Le recours toujours plus massif à la neige de culture constitue une fuite en avant désastreuse. Les dernières études sont formelles : les sports d'hiver ne survivront pas au réchauffement climatique en cours.

JEAN-MICHEL SICOT/DIVERGENCE - CYRIL ENTZMANN/DIVERGENCE

L'HÉLICOPTÈRE DU SCANDALE ! Le 14 février, la station de Luchon (Haute-Garonne) a utilisé ce moyen pour transférer 80 m³ de neige sur les zones des écoles de ski, soulevant l'indignation d'Élisabeth Borne, la ministre de la Transition écologique. L'événement rappelle que l'enneigement du XXIe siècle sur lequel évolue le skieur n'est plus tout à fait naturel. Non seulement on déplace la neige selon les besoins, mais on la cultive aussi. Oubliez les flocons ! Elle est constituée de microbilles de glace, parfaitement sphériques... La neige de culture s'impose à très grande échelle, devenant — du moins ses promoteurs l'assènent-ils — l'assurance tous risques des hivers mis à mal par le réchauffement climatique. Au point que les stations de sports d'hiver se sont lancées dans une invraisemblable course à l'armement en canons à neige. Dès 2025 — autrement dit dans cinq ans à peine —, les stations françaises auront 45 % de leurs pistes enneigées artificiellement, comme l'a révélé une étude conjointe du Centre national de recherche météorologique (CNRM, Météo France) et de l'Institut de recherche en sciences et technologies pour l'environnement (Irstea) parue en mai 2019 dans *Scientific reports*. Une fuite en avant qui va aggraver la situation en faisant pression sur les ressources en eau alors que les températures ont déjà augmenté de près de 2 °C sur les massifs français depuis le début de l'ère industrielle.

**Les canons** enneigent déjà plus du tiers des pistes françaises. Ce chiffre devrait être de 45 % dans 5 ans.




BRUNO BOURGEOIS

Toutes les données sont sur la table : la limite pluie/neige gagne 150 mètres d'altitude pour chaque degré supplémentaire. « *L'enneigement reste très variable d'une année à l'autre et demeure stable en quantité, mais les basses altitudes sont touchées par la remontée de cette limite* », constate Samuel Morin, chercheur à Météo France. En Isère, les relevés effectués à 1570 m révèlent ainsi une absence d'enneigement depuis vingt ans. Un tiers des pistes françaises a d'ores et déjà franchi le pas en s'équipant de canons à neige, l'Autriche et l'Allemagne en utilisant le double. Mais les prévisions sont très sombres. Si les températures s'élèvent de 4 °C d'ici à 2100, comme alerte un récent rapport de l'OCDE, ce sont 67 % des domaines skiables des Hautes-Alpes et 29 % de ceux de Savoie qui seraient privés d'enneigement naturel fiable. Au-dessus de 1800 m, le sursis prendra fin à partir de 2050, y compris dans les Pyrénées. Et il y a désormais très peu de chances que la situation s'améliore tant les États sont peu enclins à atteindre l'objectif affiché dans l'accord de Paris de « zéro émission nette de carbone » en 2050 pour limiter la hausse des températures à moins de 2 °C. Plus aucun sport de glisse en extérieur ne sera possible à partir de 2080.

## Le tapis de neige doit être optimisé en permanence

Ces échéances n'entravent en rien l'appétit de développement de l'industrie du tourisme, sourde aux alertes. « *Très peu d'activités économiques ont une vision à si long terme*, tente de relativiser Laurent Reynaud, délégué général de Domaines skiables de France (DSF) qui regroupe 250 stations sur les six massifs de l'Hexagone. *La neige de culture va nous permettre d'assurer tout au long des saisons hivernales les sports de glisse pratiqués par 85 % de notre clientèle française.* » Que l'automne soit favorable ou non, la neige de culture est en effet devenue indispensable à la préparation des pistes. Le travail commence dès l'été lorsque les couloirs sont dépierrés, « reprofilés » artificiellement pour tenir compte des modifications de pente provoquées par l'érosion et replantés de graminées, couvert végétal retenant mieux la neige. « *Début novembre, dès que les températures deviennent négatives, nous épandons une première couche de neige de culture que nous damons. Elle constitue une bande "anticrevaison" contre les températures trop douces, le déficit de neige et l'usure due au passage des skieurs* », poursuit Laurent Reynaud. 70 % de la neige de culture est ainsi produite avant Noël. S'il neige, c'est la cerise sur le gâteau : les dameuses tassent cet apport en « *un tapis dur résistant mieux à des redoux* », précise le professionnel.

**Pour enneiger artificiellement** les pistes de ski, une première couche est étendue dès l'automne, aux premières températures négatives (ici, à Font-Romeu, Pyrénées-Orientales).

**35 %**
du domaine skiable couvert en neige de culture en France. 60 à 70 % en Autriche et en Italie.

**8 %**
la part des Français qui fréquentent les stations de sports d'hiver.

**2 milliards d'euros**
le poids du secteur dans la balance commerciale française.

Ces engins, dotés de GPS, mesurent en permanence l'épaisseur de neige située sous les chenilles de façon à ce que les gestionnaires puissent mieux répartir les volumes et anticiper les « crevaisons », ces disparitions de la neige par endroits qui peuvent imposer par sécurité la fermeture de pistes. L'Irstea et Météo France ont ainsi bâti le projet ProSnow qui regroupe les informations variées et dispersées nécessaires pour optimiser ce tapis même si la saison souffre d'un enneigement réduit de 30 %. « *En utilisant des prévisions saisonnières et en donnant aux responsables des stations les conditions de températures et d'humidité qui vont donner une neige compacte et sèche favorable à la glisse, on peut préserver la durée de vie de l'enneigement et allonger la saison* », assure Hugues François, chercheur à l'Irstea.

## S'affranchir à tout prix des contraintes de la météo

Ces techniques ont un puissant revers : le gaspillage de la ressource en eau. Aujourd'hui, 65 % de la neige de culture proviennent de retenues collinaires creusées en altitude et 35 % sont pompés directement dans les torrents car il faut environ 1 m³ d'eau pour fabriquer 2,5 m³ de neige artificielle. « *Cela représente en France de 15 à 20 millions de mètres cubes d'eau pour un taux de couverture de 35 % des pistes*, calcule Hugues François. *Pour assurer un taux de 45 %, il en faudra 40 à 50 millions de mètres cubes selon les hivers* », soit la consommation annuelle de la ville de Marseille. En outre, on ne peut indéfiniment creuser dans les alpages de grands bassins d'eau, ni détourner la ressource sans dommages environnementaux. Ainsi, dans un rapport très circonstancié, l'association France nature environnement (FNE) dénonce cette nouvelle activité qu'est le « ski artificiel », tant ce sport dit de nature tente de s'affranchir coûte que coûte des contraintes météo. « *Car la neige artificielle, ce n'est pas que de l'air et de l'eau ! Il y a des effets collatéraux qu'on omet de prendre en compte* », écrit ainsi

**Plus humide, plus lourde** du fait du réchauffement climatique, la neige forme des couches instables, ce qui multiplie le risque d'avalanches en altitude (ici, à Bessans, en Savoie, en 2018).

N. ECKERT/INRAE

NIVOLOGIE

## Des avalanches aux trajectoires imprévisibles

La neige qui tombe aujourd'hui n'est plus la même qu'hier. C'est ce qu'affirme le dernier rapport du Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) portant sur les océans et la « cryosphère » (les surfaces englacées) paru en 2019. Les scientifiques assurent que dans les prochaines décennies les avalanches spontanées se produiront dans des lieux et à des saisons où elles étaient jusqu'à présent absentes. *« En cause, la température et l'humidité de l'air plus élevées qui font tomber une neige "lourde" contenant beaucoup d'eau et à température plus élevée »*, précise Nicolas Eckert, chercheur à l'Irstea Grenoble. Résultat : les spécialistes ne voient plus ces nuages élevés de flocons signant une poudreuse en cours de décrochement. *« Ces masses lourdes et destructives suivent désormais des trajectoires qu'il est impossible de prédire »*, poursuit le spécialiste. Et le couvert devient très instable. Résultat : si les avalanches à basse altitude ont disparu dans les Alpes, faute de neige, celles d'altitude ont fortement augmenté. *« Cette évolution est le premier résultat obtenu prouvant un lien entre les avalanches et le climat »*, explique le chercheur. Un phénomène mis en évidence aussi bien dans les Alpes que dans l'Himalaya. Une tendance qui devrait fortement s'accentuer.

Hervé Billard, en charge du pôle montagne à FNE. Ainsi, le creusement de retenues de 40 000 m³ en moyenne — soit environ l'équivalent de 16 piscines olympiques — bouleverse les cycles naturels de ruissellement et d'infiltration des pluies et détruit des zones humides d'altitude riches d'une biodiversité remarquable. En outre, la présence de la neige de culture prolonge artificiellement la durée d'enneigement et perturbe donc la revégétalisation des sols, nécessaire aux troupeaux paissant en alpages l'été. Pis ! les besoins grandissants imposent aujourd'hui de stocker la neige de fin de saison d'hiver dans des « carrières » sous une couche de sciure de 30 cm d'épaisseur pour pouvoir l'épandre à la fin de l'automne suivant (*snowfarming*).

**Fabriquer 1 m³ de neige consomme 2 kWh d'énergie, ce qui génère des gaz à effet de serre, et menace par ricochet la couverture en neige naturelle**

Autre aberration, produire 1 m³ de neige de culture consomme de 2 à 3 kWh d'énergie… ce qui génère des gaz à effet de serre. « L'assurance-vie » des sports d'hiver aggrave donc la hausse des températures, et menace par ricochet… la couverture neigeuse naturelle ! En outre, le transport des touristes représente 57 % des émissions de gaz à effet de serre des stations françaises. Sans compter que la construction d'immeubles de plus en plus luxueux aux abords des plus beaux paysages montagnards accélère le réchauffement. Vous avez dit hara-kiri ? ■

**Loïc Chauveau** @Loïc_Chauveau

**« Sepia officinalis »** a un régime carnivore très varié, allant des poissons aux poulpes en passant par les crustacés.

BIOSPHOTO/SERGIO HANQUET

# Crevettes au souper, ceinture au déjeuner

La seiche est capable de se resteindre en fonction de son menu du soir. Une faculté d'anticipation qui confirme l'intelligence de ce mollusque doté d'un système nerveux central, comme les mammifères.

Beaucoup de gourmets adoptent cette stratégie : lorsqu'ils savent que leur repas du soir a toutes les chances d'être goûteux et copieux, ils ont tendance à moins manger le midi, pour conserver « un peu de place » dans leur estomac pour le festin à venir. Cette capacité d'anticipation… les seiches la possèdent aussi ! C'est ce qui ressort d'une étude menée par Pauline Billard, des universités de Caen-Normandie et de Cambridge (Royaume-Uni) et ses collègues. Pour parvenir à cette conclusion, l'équipe a entraîné une trentaine de *Sepia officinalis* sur une vingtaine de jours en faisant varier les menus. Un tiers des seiches provenait des États-Unis, le reste des côtes de la Manche. Dans la nature, ces céphalopodes ont un régime carnivore très varié, allant des poissons aux poulpes en passant par les crustacés. En fait, la seiche mange tout ce qu'elle peut dénicher dans son environnement. *« Mais celles incluses dans notre expérience manifestaient une nette préférence pour les crevettes »*, explique la chercheuse. Question de goût ou tout simplement de facilité ? Car, il faut bien le dire, il n'y a pas que pour les humains que le crabe est très laborieux à déguster ! *« Avec son bec pointu, la seiche perce la carapace, y injecte une toxine pour paralyser le crustacé puis lui enlève les pattes et rejette tout ce qui est dur et non comestible,* décrit Pauline Billard. *Cela prend beaucoup plus de temps que la capture et l'ingestion d'une crevette. »*

### Un lobe du cerveau joue un rôle dans la mémorisation

Ainsi, les chercheurs se sont aperçus d'un comportement étonnant : lorsqu'ils donnaient aux céphalopodes des crevettes sur un rythme aléatoire — certains soirs oui, d'autres non —, ceux-ci mangeaient toujours autant de crabes. En revanche, si les seiches étaient certaines d'être servies en crevettes au souper, elles adaptaient leur déjeuner en se restreignant sur le crabe ! *« Cela montre que la seiche est capable de prendre des décisions dans le présent sur la base d'informations passées qui auront des conséquences dans son futur proche »*, résume la chercheuse. Ces capacités cognitives confirment l'intelligence de cet animal au cerveau très développé, comparé à d'autres invertébrés. Il est en effet doté d'un système nerveux central, comme les mammifères et donc l'être humain. En outre, son cerveau présente une structure particulière avec un lobe jouant un rôle dans la mémorisation.

Pauline Billard souhaite désormais étudier les capacités d'anticipation des geais puis des singes mangabeys. Son but : retracer l'histoire évolutive de cette capacité cognitive très complexe et sans laquelle l'humain ne serait pas ce qu'il est. Surtout quand vient l'heure de se remplir la panse. ■

**Hervé Ratel**

**Sur cette séquence,** la seiche projette ses tentacules pour capturer une crevette.

MANON PEYRAFORT (ANR ETHICS)

Nastassja Martin, anthropologue

# Hors limites

La chercheuse a partagé la vie des peuples de l'Alaska et du Kamtchatka bouleversée concrètement et symboliquement par le dérèglement climatique. Une perte de repères qu'elle a elle-même vécue dans sa chair après avoir croisé la route d'un ours.

Sac à dos, rangers, veste kaki, bonnet rose à pompon… Qu'elle arpente les salons parisiens de Gallimard, où nous la rencontrons cet après-midi d'hiver, ou qu'elle parcoure les forêts d'Alaska (États-Unis) et du Kamchatka (Russie) à pied ou à motoneige, Nastassja Martin reste la même. Authentique. Descendue du train en provenance des Hautes-Alpes où se niche son refuge familial — avec vue sur la Meije —, la jeune femme de 34 ans est juste de passage, visiblement mal à l'aise dans cet univers urbain. Elle tire sur les manches de son pull, pour cacher son inconfort. « *J'ai une forme d'inadéquation au monde*, sourit-elle. *Les contingences historiques m'ont fait naître dans un lieu particulier mais je ne m'y sens pas confortable, raison pour laquelle j'ai décidé d'aller voir ailleurs comment d'autres humains ont organisé leur rapport au monde.* »

Une exploration des sentiers géographiques et symboliques qui, depuis une dizaine d'années, ont mené l'anthropologue très loin… jusqu'à croiser, un jour de 2015, la route d'un ours sur les pentes volcaniques du Kamtchatka. De cette « rencontre » avec le plantigrade, dont elle est revenue grièvement blessée au visage, elle vient de tirer un ouvrage à l'écriture ciselée, *Croire aux fauves*, qui connaît un large succès public. Ce livre, qui dépasse le sensationnel de l'événement et ses longues suites chirurgicales en Russie puis à la Pitié-Salpêtrière à Paris, développe une réflexion sur l'hybridation, l'effacement des frontières et les bouleversements auxquels notre monde est aujourd'hui confronté en raison, notamment, du dérèglement climatique.

## BIO EXPRESS

**1986** Naissance à Saint-Martin-d'Hères (Isère).

**2005** Premier séjour en Alaska (États-Unis).

**Mai 2014** Thèse de doctorat en anthropologie sociale à l'EHESS à Paris.

**Juin 2014** Premier séjour au Kamtchatka (Russie).

**2016** Parution des *Âmes sauvages : face à l'Occident, la résistance d'un peuple d'Alaska* (La Découverte).

**2019** Parution de *Croire aux fauves* (Verticale).

### Un métier pour associer sociologie et nature

C'est en Namibie que la jeune Nastassja, alors âgée de 14 ans, connaît sa première épreuve. Ses parents, professeurs de sciences économiques à Grenoble, « *très engagés et voyageurs* », l'embarquent pour six mois dans ce pays d'Afrique australe. Un soir, sur le plateau du Kaokoland, elle parvient à établir un dialogue silencieux avec une adolescente autochtone. Mais la « déflagration » d'un appareil photo intempestif met brusquement fin à la magie de la rencontre. Nastassja, en larmes, y puisera un sens à sa vie. « *C'est là que mon père m'a expliqué que la vie est une boîte à outils que l'on remplit pour, un jour, réparer ses souffrances et les comprendre.* » Dès lors, sa « boîte à outils » va très vite se remplir. Pour contrer « *l'antivie* » que sont « *la salle de classe, les mathématiques et la ville* », celle qui voulait exercer un métier associant sociologie et nature choisit l'anthropologie. Elle frappe à la porte de Philippe Descola, professeur à l'École des hautes études en sciences sociales à Paris, à qui elle propose de travailler sur la « *chasse au loup en Alaska* ». Une région qu'elle fréquente en été comme guide de rafting grâce à des amis alaskiens rencontrés sur les pistes de ski de la Meije. Philippe Descola la recrute « *tout en me répétant plusieurs fois que j'étais comme un torrent phénoménologique qu'il allait falloir calmer* », sourit-elle.

Sur place, entrée en contact avec les Gwich'in qui peuplent encore les forêts subarctiques du Nord-Est, c'est la désorientation : « *J'ai découvert l'impact de la colonisation américaine, qui capte les ressources, sur ce peuple qui ne peut plus pratiquer chasse et pêche librement, mais aussi les conséquences terribles du dérèglement climatique qui brouille tous les repères.* » Pour les Gwich'in, confrontés à la fonte des glaces, aux incendies de forêt à répétition et à la disparition ou au déplacement de la faune, c'est un naufrage qui les contraint à tout repenser. « *Le sens commun ne fait plus sens* », lui souffle un vieil homme.

Comment survivre dans cette « *zone obscure de l'entre-deux* » qui conduit à la désespérance avec son cortège d'alcool et de maladies chroniques ? Pour le savoir, une fois achevée sa thèse, qu'elle publie sous le titre *Les Âmes sauvages*, Nastassja Martin franchit le détroit de Béring et se rend chez les Évènes du Kamtchatka dont certains, confrontés aux ruines de l'ex-URSS et aux mêmes bouleversements climatiques, ont décidé de retourner (sur)vivre en forêt. Elle passe ainsi de longs mois dans une famille de chasseurs-cueilleurs. « *C'est comme si nous étions revenus au temps des mythes rapportés de génération en génération*, explique-t-elle. *Une forme de genèse où l'on ne sait pas encore qui va devenir qui ou quoi. C'est une zone très dangereuse où les frontières sont temporairement abolies. Reste à savoir ce que l'on va en faire.* » À l'instar de ce récit évène où un rat musqué plonge au plus profond d'un lac pour en remonter une petite poignée de terre qu'il offre à un humain. « *En contact avec l'altérité, on en revient avec des potentialités nouvelles.* »

ÉRIC GARULT POUR SCIENCES ET AVENIR

« Elle invente une forme de littérature anthropologique exemplaire, qui n'est pas celle du récit de voyage »

**Maylis de Kerangal,** écrivaine, auteure notamment de *Naissance d'un pont* et *Réparer les vivants*

### Partager son expérience avec le plus grand nombre

Ce « contact avec l'altérité », Nastassja Martin l'a elle-même vécu dans sa chair ce jour où elle n'aurait jamais dû se trouver seule sur les pentes enneigées du Kamtchatka, à une altitude où l'ours n'était pas attendu. Une scène dramatique — « *ma tête dans la gueule de l'ours* » — dont, pour certains Évènes, elle est revenue *miedka* (moitié-moitié) après s'être libérée de l'étreinte d'un coup de piolet. Une rencontre dont elle travaille depuis à chercher le sens, par l'écriture, y voyant une métaphore du métier d'anthropologue : la chercheuse aux prises avec l'objet de sa recherche. « *Elle invente une forme de littérature anthropologique exemplaire, qui n'est pas celle du récit de voyage*, s'enthousiasme son amie l'écrivaine Maylis de Kerangal, qui a elle-même suivi des études d'anthropologie. *Ce livre m'a "sonnée". Elle y décrit ce qu'est une vraie rencontre, lorsque celle-ci transforme et fait imploser les frontières.* »

Repartie au Kamtchatka ses plaies à peine refermées, Nastassja Martin poursuit de nombreux projets dont la rédaction de la suite des *Âmes sauvages*, une étude comparative Alaska-Kamtchatka. Toujours avec le souci d'être accessible au plus grand nombre. « *C'est notre mission de chercheur de restituer à la société civile, de la façon la plus exigeante mais la plus accessible possible, notre travail. D'en faire une expérience commune.* » La littérature est son médium. ■

**Carole Chatelain**

@carolechatelain

# Des villes flottantes vont anticiper la montée des eaux

Afin d'accueillir les populations dont les territoires seront submergés dans les prochaines décennies, l'ONU envisage de bâtir des villes off-shore auto-suffisantes.

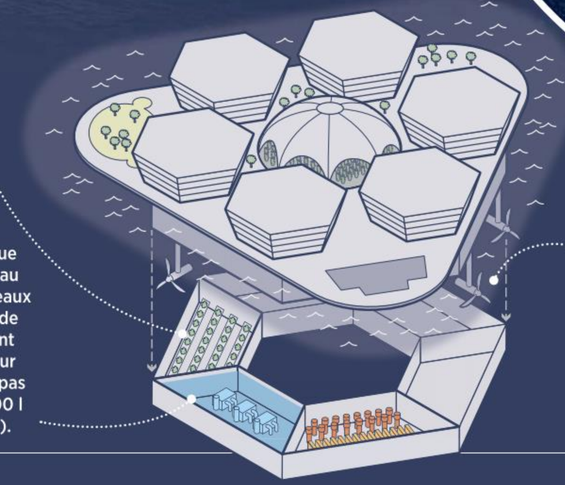
PHOTOS : ONU-HABITAT - INFOGRAPHIE : BRUNO BOURGEOIS

OÙ RELOGER LES POPULATIONS côtières devant abandonner leurs habitations devant la montée des eaux consécutive au dérèglement climatique qui pourrait s'élever de 1,10 m en 2100 selon le Giec (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat) ? Dans des villes flottantes ! C'est en tout cas un projet des plus sérieux porté par l'ONU-Habitat — programme de l'organisation internationale qui promeut les villes durables — , le Center for Ocean Engineering du Massachusetts Institute of Technology (États-Unis), l'Explorers Club — société de géographie américaine — et l'entreprise Oceanix. L'idée, dont ni le coût ni le financement n'ont été publiés, est de concevoir chaque ville de façon modulaire avec des technologies déjà éprouvées. Construit à terre et remorqué au large, chaque quartier flottant *(voir l'infographie ci-contre)* serait ensuite ancré au fond par des câbles. Il supporterait des bâtiments qui ne dépasseraient pas sept étages afin d'assurer la stabilité et de résister aux intempéries. Ces quartiers pourraient s'associer par groupes de six autour d'un port central. Ils formeraient alors des « villages » hexagonaux comportant des infrastructures de loisirs et de commerce. Enfin, ces villages, ravitaillés par drones, seraient connectés pour créer une ville de 10 000 habitants. Un prototype, d'abord pressenti sur l'East River, à New York (États-Unis), doit voir le jour sur un lieu à définir. ■

**Pascal Nguyên**

## Chaque quartier sera entièrement autonome

D'une surface de 2 hectares, l'unité de base de cette ville flottante pourra accueillir jusqu'à 300 habitants.



**LA NOURRITURE** proviendra de cultures en aquaponie et en aéroponie dans les sous-sols et de surfaces agricoles aménagées au milieu du quartier.

**L'EAU POTABLE** sera issue de la désalinisation de l'eau de mer, de la collecte des eaux de pluie et de l'humidité de l'air. Les eaux usées seront traitées et réinjectées pour les usages ne nécessitant pas d'eau potable (environ 400 l par jour et par personne).

**L'ÉNERGIE** sera notamment fournie par des hydroliennes, ainsi que des capteurs solaires et des éoliennes. Objectif : une grande sobriété de la consommation, à savoir 31 kWh par jour et par personne pour tous les usages, y compris ceux liés aux cultures (contre 66,5 kWh/jour aujourd'hui en France).

**Le module hexagonal** sera ancré au fond par des câbles.

# L'extraordinaire danse des abeilles révélée

Des chercheurs américains ont compris comment « Apis mellifera » signale la présence de nourriture à ses congénères à l'aide de figures aériennes.

Quatre-vingt-dix degrés par rapport au Soleil et une seconde de vibration : à droite sur environ 750 mètres. 180° et 3 secondes de vibration : dos au Soleil et tout droit sur 2,5 kilomètres... Des chercheurs américains viennent de réussir l'exploit de décrypter la mystérieuse « danse » exécutée par les abeilles européennes (*Apis mellifera*) pour signaler la présence de nourriture ! En observant des colonies, les biologistes de l'université du Minnesota (États-Unis) ont ainsi traduit plus de 1500 variations de cette danse pour mieux comprendre la communication entre ces insectes sociaux mais aussi leur préférence alimentaire. L'étude parue dans la revue scientifique *Plos One* s'est attelée à répondre à deux questions : Quels types de fleurs sont les plus prisés par les ouvrières ? À quel moment partent-elles préférentiellement à la recherche de nourriture ?

PAUL STAROSTA/GETTY IMAGES

**L'hyménoptère** (au centre) fait vibrer son abdomen et se déplace de façon à décrire à ses congénères l'angle par rapport au Soleil qui indique l'emplacement de fleurs abondantes en pollen.

## Des figures complexes liées au Soleil

L'abeille exploratrice a en effet une mission : signaler à la ruche la présence de fleurs particulièrement riches en nectar ou en pollen. Et c'est en « dansant », c'est-à-dire en effectuant des figures aériennes complexes, qu'elle indique précisément leur emplacement à ses congénères. Pour ce faire, elle se déplace d'abord de façon à décrire un angle par rapport au Soleil, ce qui indique la direction à suivre pour trouver les plantes. Ainsi, selon l'angle, la nourriture se trouve à droite, à gauche, droit devant ou droit derrière... Pour indiquer la distance, l'hyménoptère fait varier la durée de vibration de son corps : une seconde équivaut à environ 750 mètres, selon les chercheurs. L'abeille exploratrice répète cette chorégraphie encore et encore à l'entrée de la ruche, pour être vue de ses congénères, et ce avec d'autant plus d'acharnement que la nourriture est abondante.

Les chercheurs ont aussi découvert quels types de fleurs étaient préférés par les abeilles. Ces dernières *« perçoivent sept taxons de fleurs de prairie indigènes comme sources de pollen rentables »*, révèlent-ils. Il s'agit en autres de la gerbe d'or (*Solidago*), du trèfle pourpre (*Dalea purpurea*), de l'agastache (*Agastache*), de l'ambroisie (*Ambrosia*), d'un membre de la famille des tournesols.... Ces informations sont d'une importance capitale pour la préservation des colonies comme le soulignent les biologistes qui recommandent aux gestionnaires de divers terrains et prairies d'augmenter le nombre de ces fleurs pour *« améliorer de manière significative la nutrition des colonies »*. La mortalité des colonies d'abeilles, soulignent les auteurs de l'étude, a en effet atteint *« des niveaux insoutenables aux États-Unis »*. Ainsi que partout dans le monde. En France, le ministère de l'Agriculture et l'Agence nationale de sécurité sanitaire (Anses) ont mené une enquête auprès des apiculteurs révélant une mortalité hivernale de 30 % pour la saison 2017-2018 ! Et avec la sécheresse et les épisodes caniculaires, 2019 semble avoir été une année plus noire encore... *(Lire aussi p. 24.)* ■

**Anne-Sophie Tassart** @TassartAS




## MYSTÉRIEUSE BIRMANIE

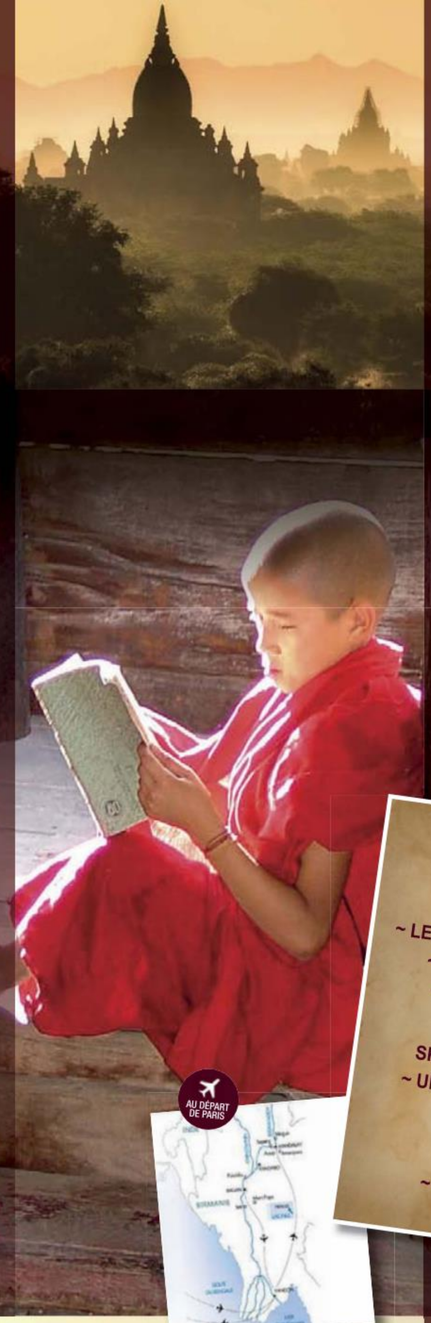
Mandalay, golfe du Bengale, temples de Bagan... il y a des noms qui font instantanément rêver. Sans même évoquer la vallée des rubis, célèbre titre de Joseph Kessel, aussi bien journaliste qu'aventurier qui raconta les richesses de Mogok, ville toute empreinte de légendes.

Le voyage proposé aujourd'hui au Myanmar par Sciences et Avenir invite à la découverte de ce pays mieux connu de beaucoup sous le nom de Birmanie, qui paraît toujours aussi mystérieux.

Parce qu'il est synonyme de pierres précieuses - aussi bien saphirs que rubis ! - de jade et autres pierres fines, il nous fallait, pour le décrypter, un spécialiste incontestable du domaine. Ce sera le cas, avec Didier Giard, membre de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer et Président de l'Association Française de Gemmologie, fin connaisseur de géopolitique, qui replacera pour nous l'importance du pays dans l'Asean (association des nations de l'Asie du sud-est) et sur les nouvelles routes de la Soie. Ce sont à la fois la découverte de sites somptueux et la compréhension du monde d'aujourd'hui qui vous sont proposées. Un merveilleux voyage en perspective.

**Dr Dominique LEGLU**
*Directrice de la rédaction de Sciences et Avenir*

**AVEC VOUS À BORD !**
**DIDIER GIARD**
**Conférencier**
Didier Giard est membre titulaire de l'Académie des Sciences d'Outre-Mer où il occupe le siège de l'ancien ambassadeur André Lewin et est membre de la prestigieuse Société des Explorateurs Français crée en 1937 par Paul-Emile Victor.






LES EXPÉDITIONS SCIENCES ET AVENIR

# CROISIÈRE EN BIRMANIE

FESTIVAL DU
**PHAUNG DAW OO**
**AU LAC INLE**

**14 JOURS / 11 NUITS**
**DU 14 AU 27 OCT. 2020**
**A BORD DU PANDAW II**

**LES POINTS FORTS**
~ UN CONFÉRENCIER DE TRÈS HAUT NIVEAU SPÉCIALISTE DE LA BIRMANIE.
~ LES VISITES DES PLUS BEAUX SITES DE LA BIRMANIE.
~ UNE DES MEILLEURES PÉRIODES DE L'ANNÉE.
~ LE GRAND MOMENT DE VOTRE CROISIÈRE, LE FESTIVAL DES BATEAUX PAGODES SUR LE LAC INLE, C'EST L'UN DES PLUS BEAUX SPECTACLES AQUATIQUES D'ASIE DU SUD-EST.
~ UN PETIT PAQUEBOT CONVIVIAL DE 20 CABINES POUR 40 PRIVILÉGIÉS.
~ UN TOUT COMPRIS BLEU VOYAGES (excursions, boissons à table, etc...).
~ UN ACCOMPAGNEMENT FRANCOPHONE.

**À PARTIR DE**
**3 700 €/PERS.**
**Au départ de Paris - En tout inclus**

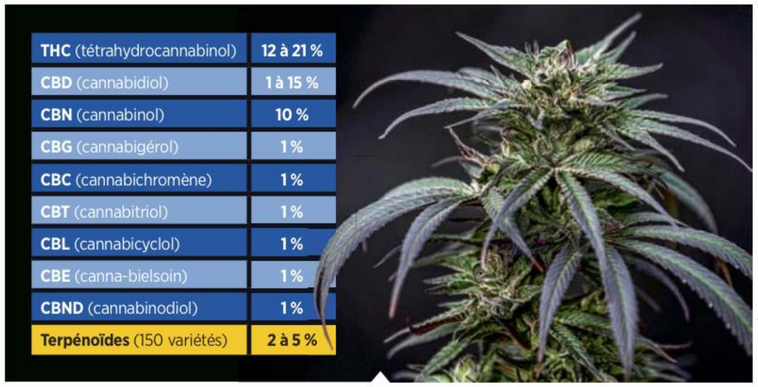
**RENSEIGNEMENTS ET RÉSERVATIONS :**
**BLEU VOYAGES**
**213 rue de Gerland - Bat 2 - 69007 LYON**
**TÉL. 04 72 76 75 66**
**www.expeditions-sciencesetavenir.fr**
Bleu Voyages

Neige et Soleil Voyages SAS au capital de 396 800 • RC Bourgoin Jallieu B 398 629 766 • Code APE 7911 Z • Immatriculation Atout France 038110038 • Agence garantie par l'APST • 15 Avenue Carnot - 75017 Paris • Agence assurée pour sa responsabilité civile et professionnelle par le groupe MMA Entreprises n° de contrat 144569079.

# La France expérimente le cannabis médical

C'est une première, prudente. 300 patients souffrant de douleurs d'origine nerveuse vont bénéficier d'un traitement à base de cette plante. Mais d'autres malades atteints de glaucome, sida, etc. n'en bénéficient toujours pas.

**Par Hervé Ratel**



| | |
|---|---|
| **THC** (tétrahydrocannabinol) | 12 à 21 % |
| **CBD** (cannabidiol) | 1 à 15 % |
| **CBN** (cannabinol) | 10 % |
| **CBG** (cannabigérol) | 1 % |
| **CBC** (cannabichromène) | 1 % |
| **CBT** (cannabitriol) | 1 % |
| **CBL** (cannabicyclol) | 1 % |
| **CBE** (canna-bielsoin) | 1 % |
| **CBND** (cannabinodiol) | 1 % |
| **Terpénoïdes** (150 variétés) | 2 à 5 % |

AMIR COHEN/REUTERS

**Une centaine de cannabinoïdes,** dont le cannabidiol et le THC ainsi que des centaines d'autres composés, parmi lesquels des terpénoïdes (donnant son odeur au chanvre indien), sont présents dans la fleur.

UNE RÉVOLUTION. Après des années d'atermoiement, voire de franche opposition, la France franchit enfin le pas. Les autorités sanitaires ont obtenu le feu vert pour expérimenter le cannabis médical. Loin d'être une première mondiale, ce n'en est pas moins un événement dans notre pays, l'un des plus fermes au monde sur l'interdiction de cette plante classée parmi les stupéfiants. Et pourtant, le 29 octobre 2019, l'Assemblée nationale a voté à l'unanimité un amendement ouvrant une brèche dans le dispositif afin d'en exploiter les vertus médicinales. Comme le souligne Yann Bisiou, maître de conférences en droit privé et sciences criminelles à l'université Paul-Valéry de Montpellier : *« C'est paradoxalement la position très prohibitionniste du gouvernement français sur le cannabis récréatif qui l'a conduit à lâcher un peu de lest sur le versant thérapeutique. »* Les preuves scientifiques et médicales s'accumulent en effet depuis de nombreuses années quant aux bénéfices que certains malades peuvent attendre de cette plante, au point qu'une telle proscription devenait intenable et rétrograde. Raison pour laquelle il s'agira d'une expérimentation et non d'un essai, la nuance étant d'importance. *« Nous postulons qu'il existe suffisamment d'éléments dans la littérature scientifique pour estimer que le cannabis a un intérêt en pharmaceutique dans plusieurs affections,* appuie Nathalie Richard, directrice adjointe des médicaments à l'Agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM). *Cette expérimentation a donc pour but de mettre en place et tester un cadre de prescription.* » C'est toute une filière sécurisée — de la production à la prescription et distribution aux malades — qui devrait ainsi être définie d'ici à fin 2022.

À l'heure actuelle, la pharmacopée française ne propose que deux médicaments à base de cannabis *(lire l'encadré p. 76)*. Mais aucun des deux ne satisfait pleinement les malades car ce sont des versions synthétiques ou extrêmement simplifiées de la plante. Dans le cadre de l'expérimentation, seront testées des fleurs séchées concentrant les principes actifs. *« Elles seront importées,* précise Nicolas ▸

**EXPÉRIMENTATION**

### Les indications thérapeutiques

- Douleurs neuropathiques (d'origine nerveuse) réfractaires.
- Certaines formes d'épilepsie sévères et pharmacorésistantes.
- Soins de soutien en oncologie pour certains symptômes (nausées, vomissements).
- Situations palliatives.
- Spasmes douloureux de la sclérose en plaques ou d'autres pathologies du système nerveux central.

**La France importera** les fleurs de cannabis depuis des pays qui autorisent sa culture à des fins thérapeutiques (ici une ferme dans l'Ontario, au Canada).

LARS HAGBERG/AFP

PHARMACOPÉE

## 4 médicaments différents

**L'expérimentation se fera à partir des fleurs séchées de la plante *Cannabis sativa*, riches de nombreux composants. Les trois autres traitements contiennent, eux, des cannabinoïdes de synthèse.**

**FLEURS SÉCHÉES**

La fleur séchée de la plante *Cannabis sativa* qui sera utilisée lors de l'expérimentation contient de nombreux composants.
Une centaine de cannabinoïdes et 150 terpènes différents ont été identifiés.

**MARINOL/ DRONABINOL**

Capsules de delta-9-tétrahydrocannabinol (principal composant psychotrope de *Cannabis sativa*) synthétique. Utilisé dans la prise en charge des anorexies provoquées par le sida et les nausées et vomissements consécutifs à une chimiothérapie.

**ÉPIDIOLEX**

Huile à base de cannabidiol (CBD) de synthèse ayant reçu une AMM en septembre 2019. Il est le seul médicament approuvé par l'Agence européenne du médicament pour le traitement de deux formes rares d'épilepsie.

**SATIVEX**

Spray buccal indiqué pour les personnes souffrant de sclérose en plaques. Il est distribué dans 17 pays… sauf en France, faute d'un accord sur son prix entre le laboratoire le fabricant et les autorités sanitaires.

SPA - P. HUGUEN/AFP

Authier, psychiatre et pharmacologue au CHU de Clermont-Ferrand, président du comité d'experts de l'ANSM. *Nous avons lancé des appels d'offres en direction du Canada, des États-Unis, des Pays-Bas et de l'Australie pour nous fournir en spécimens répondant à des normes pharmaceutiques.* »

Cette expérimentation sera l'occasion de collecter des données scientifiques et médicales et déterminer le profil des patients les plus appropriés. « *Là encore, c'est une première en France*, explique Nicolas Authier. *Pendant au moins six mois, nous allons suivre 3000 patients chez qui les autres médicaments ont échoué. J'ai bon espoir que cela puisse avoir un effet bénéfique chez au moins 40 % d'entre eux. Il est indéniable qu'il améliore la qualité de vie de certains patients. Or, tout médecin a pour but premier de réduire la souffrance.* » Une qualité de vie qu'a pu retrouver le fils de Yannick Frelat qui, à 20 ans, souffre d'épilepsie. « *Nous avons essayé tous les traitements possibles et seul le cannabis lui permet d'espacer ses crises à trois par mois contre quatre par semaine auparavant* », détaille ce père, membre d'Épilespie France.

Beaucoup de patients dénoncent « *cette situation totalement absurde où des personnes sont contraintes de se mettre dans l'illégalité pour obtenir le seul médicament qui les soulage* », comme le dit Marie-Madeleine Gilanton, présidente d'Apaiser S&C, une association fédérant les personnes souffrant de syringomyélie et de malformation de Chiari, deux affections rares touchant le cervelet et la moelle épinière. « *Il n'existe aucun traitement officiel efficace pour soulager les douleurs et beaucoup de malades utilisent le cannabis*, explique-t-elle. *J'en prends en décoction toutes les trois semaines. Or nos adhérents, qui ont entre 50 et 80 ans, ne savent pas où s'approvisionner. La plupart en sont réduits à mettre à contribution leurs enfants ou petits-enfants pour se fournir en chanvre de piètre qualité dans les cités ou devant les lycées !* »

NICOLAS ATHIER

> « Il est certain que ce produit peut se révéler utile bien au-delà des indications retenues »
>
> **Nicolas Authier,** psychiatre et pharmacologue au CHU de Clermont-Ferrand, président du comité d'experts de l'ANSM

### Créer à terme une filière de recherche et de production

Bertrand Rambaud, président de l'Union francophone pour les cannabinoïdes en médecine (UFCM-I-Care), se place également dans l'illégalité pour se procurer la plante et calmer les douleurs provoquées par son traitement anti-VIH et pour retrouver l'appétit. Il regrette que les indications ciblées soient essentiellement des douleurs neuropathiques *(voir la liste p. 76)*. « *La palette des indications est trop restrictive*, dénonce-t-il. *Rien sur les douleurs chroniques, ni sur le glaucome, le sida ou les maladies psychiatriques !* » Ce à quoi Nicolas Authier rétorque que les indications choisies sont « *celles avec le plus haut niveau de preuves. Il nous a donc fallu en éliminer certaines, mais il est certain que le cannabis peut se révéler utile bien au-delà de celles retenues.* »

En l'espèce, pas question de prendre de front les laboratoires pharmaceutiques et les professionnels de santé « *Nous voulons éviter de nous placer dans une position "disruptive"*, continue Nicolas Authier. *Il est essentiel de ne pas aller trop vite. Dans les pays qui ont voulu brusquer les choses comme le Canada, les professionnels n'ont pas suivi. En France, nous souhaitons avancer avec ces derniers afin que l'acceptation soit la plus large possible.* » Tout le monde a conscience de « marcher sur des œufs ». Il existe en effet une énorme résistance de la part de médecins qui ne voient le cannabis que comme une drogue récréative. « *Pour eux, le cannabis est un ovni*, explique Yann Bisiou. *Tout leur savoir est construit sur l'idée que l'efficacité d'un médicament provient d'une molécule unique, standardisée. Rien de tel avec le chanvre indien et ses centaines de molécules qui ont un effet synergique.* » Raison pour laquelle ce spécialiste du droit estime qu'il sera nécessaire de créer *in fine* pour la plante un régime juridique spécifique, notre système de santé n'étant pas adapté pour accueillir ce traitement d'un genre nouveau. « *À terme, l'objectif est de créer une vraie filière française de production et de recherche* », appuie Nicolas Authier.

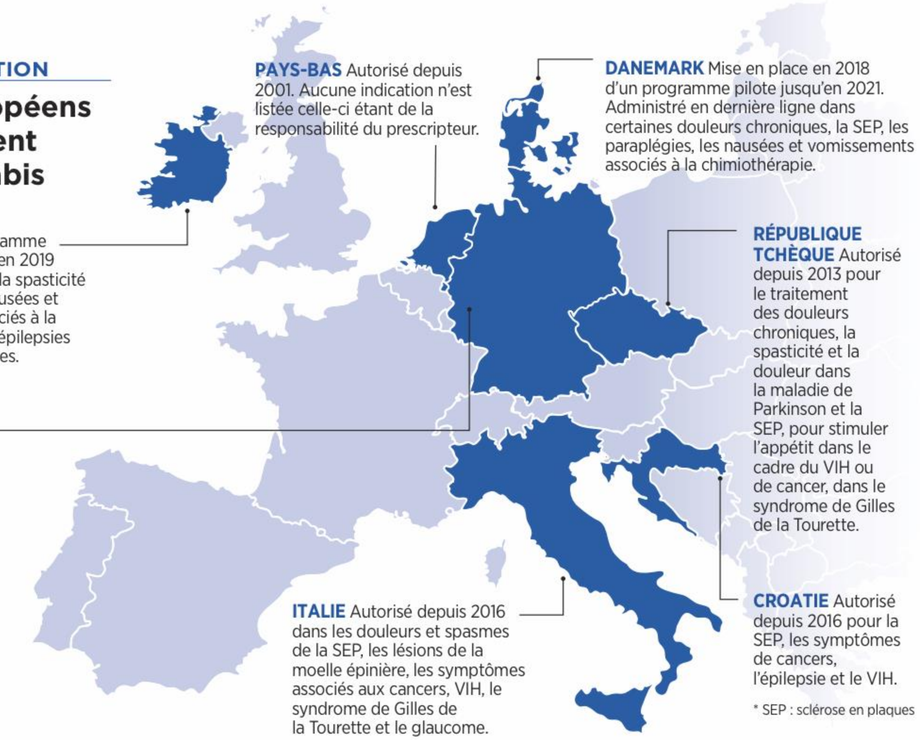
### Former médecins et personnel médical

Il sera donc indispensable de former le personnel médical à cette nouvelle thérapie dont plusieurs voies d'administration seront étudiées, en excluant la forme fumée, dangereuse pour la santé. Or, certains regrettent que cette formation se fasse *a minima*. « *Sur seulement deux ou trois heures, c'est bien trop peu pour cette plante aux 600 composants !* », se désole ainsi Bertrand Rambaud. Ce à quoi Nicolas Authier réplique qu'une durée plus longue risquerait d'empêcher les professionnels d'adhérer à la mesure, faisant ainsi échouer l'expérimentation. Ce que Marie-Madeleine Gilanton ne veut à aucun prix. « *Nous espérons que cette expérimentation sera un succès et conduira à une régulation.* »

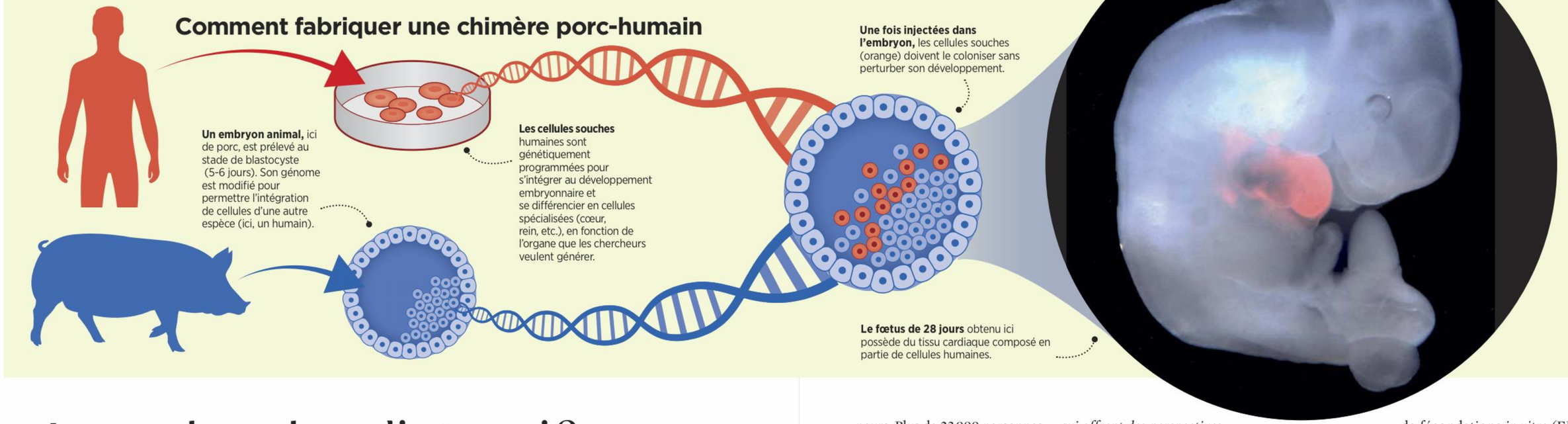
En outre, elle y voit un moyen d'écarter un autre danger : la dépendance à la morphine et ses dérivés, seuls traitements légaux contre les douleurs résistantes. Le gouvernement français vient d'ailleurs de limiter à trois mois la durée de prescription d'un opioïde, le tramadol, trop facilement administré. Dans ce cadre, l'expérimentation à venir du cannabis thérapeutique tombe à point nommé car, de l'avis de tous les spécialistes, ce produit est loin d'entraîner une dépendance aussi forte. La route vers cette nouvelle révolution française sera longue et semée d'embûches, mais malades et professionnels ont bon espoir : notre pays semble enfin sur la bonne voie. ■

LÉGALISATION

## 7 pays européens autorisent le cannabis




BRUNO BOURGEOIS




SALK INSTITUTE - ILLUSTRATION: BRUNO BOURGEOIS

# La recherche s'intensifie sur les embryons chimères

Un chercheur japonais a reçu l'autorisation de mener à terme la gestation d'embryons d'animaux contenant des cellules humaines. Ces manipulations, qui visent à créer des greffons, font polémique.

UNE TÊTE DE LION crachant du feu et un corps de chèvre surmonté d'une queue de dragon... Tel était Chimère, monstre malfaisant de la mythologie grecque qui dévorait les humains. Depuis, l'idée de créatures fantastiques composées de parties d'espèces différentes n'a jamais cessé de hanter l'imaginaire. Aussi, lorsque la recherche s'aventure sur ce terrain en voulant injecter des cellules d'une espèce dans l'embryon d'une autre, les réactions sont épidermiques ! En France du moins. En janvier, le Sénat a ainsi fait retirer de la proposition de modification des lois de bioéthique une disposition ouvrant la voie à ces « embryons chimères ». Celle-ci proposait en effet d'interdire « *la modification d'un embryon humain par adjonction de cellules provenant d'autres espèces* » et donc d'autoriser officiellement l'inverse,soit l'introduction de cellules humaines dans des embryons d'autres animaux. C'est ce qu'ont réalisé notamment des équipes américaines ces deux dernières années, en annonçant avoir obtenu les premiers embryons porc-humain et mouton-humain, détruits au bout de 28 jours de développement *in utero* conformément à la législation des États-Unis. En dépit de résultats peu concluants, d'autres envisagent déjà l'étape suivante : le Japon est devenu en 2019 le premier pays à accorder, à l'équipe du Pr Hiromitsu Nakauchi, pionnier du domaine, une autorisation de mener à terme des gestations de fœtus animaux « humanisés ». Autant d'annonces qui font grand bruit et posent la question de leur intérêt.

La raison la plus souvent avancée par les chercheurs pour justifier la création d'une chimère est la possibilité de générer, à terme, un organe « humanisé » (pancréas, foie, cœur, poumon, rein...) dans le corps d'un animal. Et ce, afin de produire des greffons prêts à être transplantés sans trop de risques de rejet, et de combler ainsi le manque actuel de donneurs. Plus de 23 000 personnes sont inscrites en liste d'attente d'organe en France. La démonstration de faisabilité de cette manipulation a été apportée en 2010, sur l'animal, par Hiromitsu Nakauchi : le scientifique avait obtenu des rats viables porteurs d'organes de souris qu'il avait ensuite transplantés avec succès sur d'autres souris. « *Ce sont des espèces très proches,* explique Pierre Savatier, directeur de recherche Inserm à l'Institut cellules souches et cerveau de l'université Claude-Bernard, à Lyon. *Surtout, les cellules de souris ont une grande aptitude à coloniser d'autres espèces, elles s'intègrent au développement sans produire d'anomalies.* » Mais pour le spécialiste, ces expérimentations présentent un autre intérêt que des greffons potentiels : « *Ces hybrides nous apprennent à programmer des cellules souches dites pluripotentes qui offrent des perspectives importantes, notamment en médecine régénératrice.* » Ces cellules immatures, capables ensuite de se spécialiser en n'importe quel tissu (cardiaque, cutané, musculaire...), sont de deux sortes : les cellules souches embryonnaires (CSE), issues et cultivées à partir d'embryons ; et les pluripotentes induites (iPS), obtenues par reprogrammation de cellules adultes. « *Les manipulations sur les embryons chimères nous permettent d'apprendre à orienter cette différenciation cellulaire par ingénierie génétique* », poursuit le spécialiste. Les chercheurs parviennent ainsi à mieux comprendre quels sont les gènes activés, à quel moment précis du développement embryonnaire, et pour produire quel type de tissus. Autre application : ces expériences permettraient également de rendre les techniques de fécondations *in vitro* (FIV) plus efficaces. Pour mémoire, les chances de réussite d'une FIV ne dépassent pas environ 20 %.

INSERM

**« Ces hybrides nous apprennent aussi à programmer des cellules souches pour développer la médecine régénératrice »**
**Pierre Savatier,** directeur de recherche Inserm à l'Institut cellules souches et cerveau de l'université Claude-Bernard, à Lyon

### En France, une interdiction facilement contournable

Le code de la santé publique français est draconien : interdiction de produire des embryons chimériques. Et il le restera si la proposition de loi amputée de la disposition contraire est finalement adoptée. Sauf que cette interdiction, très claire en apparence, laisse en fait un vide juridique majeur permettant de s'en affranchir. « *L'hybridation entre espèces non humaines ne relève pas du code de la santé publique car il s'agit d'expérimentation animale,* assure ainsi Pierre Savatier. *Ce qui nous a déjà permis, par exemple, de conduire des expériences lapin-macaque.* » Surtout, le chercheur affirme qu'il est même possible « *en théorie* », d'utiliser des iPS humaines sur un embryon animal, la manipulation relevant là aussi de l'expérimentation animale. Mais ce flou n'arrange personne, car d'éventuels projets de recherche prêteraient le flanc à la

INTERVIEW

HERVÉ CHNEIWEISS

PRÉSIDENT DU COMITÉ D'ÉTHIQUE DE L'INSERM

## « Personne n'aimerait voir un cochon à tête de singe »

INSERM

***En France, quel est l'enjeu des nouvelles lois de bioéthique sur les embryons chimères ?***
La modification proposée par le gouvernement est une tentative de clarification de la loi car, aujourd'hui, tout est affaire d'interprétation. En l'état, la création d'embryon chimère est clairement interdite… sauf que cette interdiction s'inscrit dans un article qui concerne l'embryon humain. Il ne s'applique donc pas à l'expérimentation animale : croisements entre espèces non humaines, mais aussi injection de cellules souches humaines dans un embryon animal. C'est ce vide juridique qu'il faut combler en exprimant clairement ce que l'on veut autoriser ou non.

***Le Sénat avance comme argument le refus de voir la « barrière des espèces » franchie. Qu'en pensez-vous ?***
Cela n'a pas de sens. Cette « barrière des espèces » est déjà franchie tous les jours, dans des dizaines de laboratoires à travers le monde — y compris en France — qui implantent des cellules souches ou cancéreuses humaines dans des animaux adultes par exemple ! Certes, ces expériences ne se font pas au stade embryonnaire, mais, *stricto sensu*, ces animaux sont des chimères. Quant à imaginer une créature viable mi-humaine mi-animale, c'est du fantasme ! Obtenir ne serait-ce qu'un pancréas humanisé chez un porc est déjà totalement irréaliste aujourd'hui.

***Quelles sont les limites éthiques qui font consensus chez les scientifiques ?***
La première est d'interdire l'implantation d'embryons humains chimérisés. Aucun pays ne l'autorise d'ailleurs. La deuxième est de ne pas donner d'apparence mixte aux chimères. Personne n'aimerait voir un cochon à tête de singe par exemple… La troisième est plus discutée : permettre ou non l'implantation de cellules neuronales humaines dans un cerveau animal. Certains sont pour l'interdiction, d'autres pensent que ces expériences pourraient conduire à des thérapies cellulaires régénératrices pour le cerveau.

**Propos recueillis par H. J.**

guérilla judiciaire menée par certaines associations opposées à ces travaux. « *Il faut donc une réglementation plus précise, plus claire* », insiste Pierre Savatier. Ce que confirme le Dr Hervé Chneiweiss, neurologue et neurobiologiste, président du Comité d'éthique de l'Inserm, pour qui l'argument évoqué par les sénateurs français du franchissement de « la barrière des espèces » ne tient pas *(lire l'interview ci-dessus)*. « *Cette crainte relève du fantasme* », affirme-t-il. D'autant plus que, jusqu'ici, les tentatives d'embryons chimères se soldent par des échecs cuisants. « *Nos expériences montrent surtout que les CES comme les iPS, quelles soient humaines ou simiennes, sont intrinsèquement inaptes à coloniser correctement une autre espèce* », rappelle Pierre Savatier.

Les obstacles techniques sont de taille en effet. Preuve en est la dernière expérience rapportée en décembre dans *Protein & Cell* sur des porcelets porteurs de cellules de macaque rhésus. Sur les quelque 4000 embryons génétiquement modifiés implantés chez des truies, dix seulement sont arrivés à terme avant de mourir dès la première semaine. Et seuls deux d'entre eux avaient conservé des tissus (cœur, foie, poumon, rate) composés, au mieux, d'une cellule de singe sur 10 000. Même problème d'ailleurs pour les expériences américaines qui ont également montré que les fœtus porc-humain comprenaient 1 cellule humaine pour 100 000 après 28 jours de développement, et de l'ordre de 1 pour 10 000 pour les fœtus porc-mouton. « *Tout cela fonctionne vraiment très mal encore* », commente Pierre Savatier.

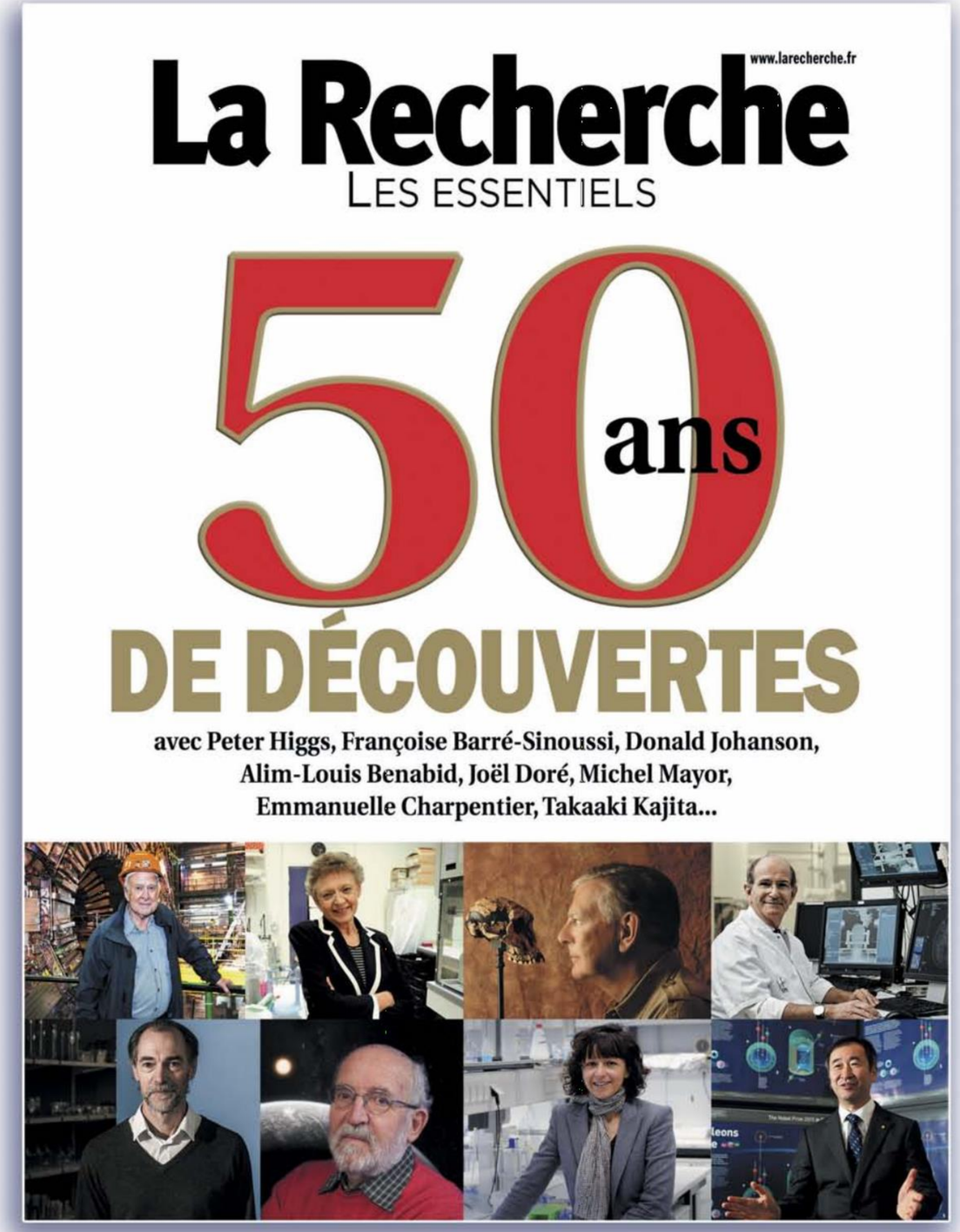
### Deux lignes blanches à ne jamais franchir

Reste à attendre les résultats de l'expérimentation pionnière accordée par le Japon à Hiromitsu Nakauchi autorisé à mener à terme les gestations. « *C'est quelqu'un de sérieux qui va procéder par étapes pour analyser la progression du chimérisme au cours du développement et identifier d'éventuels problèmes* », assure le Pr John De Vos, spécialiste de l'instabilité génomique des cellules souches humaines à l'Institut de recherche en médecine régénératrice de Montpellier (Inserm). « *À la moindre alerte, comme la migration de cellules humaines vers le cerveau, il pourra stopper l'expérience et revoir son modèle.* » Car si la plupart des chercheurs plaident pour que ces expérimentations puissent avoir lieu, la majorité trace deux lignes blanches à ne jamais franchir : « *Le chimérisme du cerveau et la création d'un individu dont l'apparence pourrait prêter à confusion* », résume Pierre Savatier. Des perspectives inquiétantes que les scientifiques assurent encore peu crédibles aujourd'hui. ■

**Hugo Jalinière** @HugoJaliniere



Numéro anniversaire 1970-2020




En vente chez votre marchand de journaux

# Aliments en poudre : on reste sur sa faim

Ces poudres à diluer dans de l'eau offriraient un repas équilibré et riche en nutriments. Une promesse difficile à tenir et une vision contestable de l'alimentation.

De la poudre, de l'eau, remuer énergiquement… et le déjeuner est prêt ! À la fraise, aux cèpes, aux légumes du jardin, les nouveaux « repas à boire » s'invitent à la table de ceux qui n'ont pas le temps, l'envie ou la possibilité de cuisiner, se substituant ainsi aux sandwichs et plats préparés. Différents des produits hyperprotéinés avalés par les sportifs ou des sachets hypocaloriques qui ont connu un franc succès dans les années 1990, ces mélanges à reconstituer ou déjà prêts à l'emploi issus du secteur du *snacking* — un marché de 167 milliards de dollars en 2016 en Europe selon Nielsen — se présentent comme une alternative saine à la restauration rapide. Ils promettent un *« repas équilibré, riche en nutriments »*, garantis sans gluten, sans lactose et végan. Outre-Atlantique, ce concept connaît un franc succès avec les marques Milk Fuel ou Solyent, chefs de file de la *smart food*. Mais le secteur est aussi en pleine expansion en Europe (Joylent, Huel, Queal) y compris en France, le pays de la gastronomie. Feed, Vitaline et Smeal se partagent le marché de la vente par Internet et envahissent les rayons des supermarchés. Feed a même noué un partenariat avec le chef étoilé Thierry Marx, caution de sa gamme « bio ». Mais ces breuvages sont-ils de bons substituts de repas ou une simple… poudre aux yeux ?

**2 heures et 11 minutes**
C'est le temps que passent les Français à table chaque jour, devant les Italiens (2 h 05 min), les Portugais (1 h 47 min), les Japonais (1 h 35 min) ou les Américains (1 h 01 min).
(SOURCE : OCDE 2018.)

## La plupart sont bien équilibrés…

Les fabricants de poudres à diluer prétendent qu'elles peuvent remplacer un repas *« complet »*, *« nutritionnellement parfait et équilibré »*. Avec 48 % de glucides, 37 % de lipides et 12 % de protéines par portion, la marque Feed respecte ainsi les recommandations de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation (Anses) en matière de répartition des apports énergétiques (40 à 55 % des calories journalières doivent être sous la forme de glucides, 35 à 40 % sous la forme de lipides et 10 à 20 %, de protéines) (1). Les recettes de la marque Vitaline et Huel affichent les huit acides aminés essentiels qui doivent être apportés par l'alimentation. Les substituts de repas sont également une bonne source de fibres alimentaires (7,7 g/100 g de poudre pour la marque Huel).

BERNARD MARTINEZ POUR SCIENCES ET AVENIR

## … mais certaines formules sont trop sucrées et salées

La poudre à réhydrater saveur « tomates à la provençale » de la marque Feed affiche ainsi pas moins de 30,9 g de sucres, principalement de l'isomaltulose, dont le pouvoir glycémiant est moindre que celui du sucre de table (2). Mais prudence, le fructose qu'il contient pour moitié peut avoir des effets délétères sur le foie quand il est consommé en excès. En outre, l'apport en sel est parfois trop important. Compter 2 g pour une portion aux « tomates bio » de Feed, là où l'Organisation mondiale de la santé recommande de ne pas excéder 5 g/jour.

## Ils ne sont pas si naturels

Les repas liquides contiennent parfois très peu de fruits et de légumes. La recette aux cèpes de Feed n'en contient que 1 % quand celle de Vitaline aux fruits rouges fournit l'équivalent de deux fraises, quatre baies de cassis et trois framboises ! *A contrario*, arrivent en tête de liste des ingrédients comme des mélanges d'huiles en poudre, la farine de sarrasin, les protéines de pois, mais aussi des additifs : sirop de glucose, amidon modifié, gomme de guar (un épaississant) ou arômes artificiels. *« Ces poudres à dissoudre sont de purs produits ultratransformés, qui pourraient être inscrits dans le groupe 4 de la classification NOVA* [voir le lexique] », fait remarquer le Dr Jean-Michel Lecerf, nutritionniste à l'Institut Pasteur de Lille *(lire aussi l'encadré ci-dessous)*.

## Leurs nutriments peuvent être mal assimilés

Les marques jouent sur l'idée que ces repas à boire renferment la majorité des minéraux et vitamines recommandés. La recette à la carotte de Vitaline fournit ainsi dans une seule portion l'ensemble des 13 vitamines nécessaires à l'organisme en apportant, par exemple, 53 % des valeurs nutritionnelles de référence (VNR) en vitamine E ou 62 % des VNR en vitamine B1, essentielle pour transformer les glucides en énergie. Les recettes fournissent également de multiples minéraux (magnésium, calcium, cuivre, sélénium, etc.)… Mais pour Jean-Michel Lecerf, *« les nutriments ajoutés à ces poudres ne sont pas assimilés de la même façon que s'il s'agissait de mets solides. Lorsque l'on déstructure un aliment, on perd aussi "l'effet matrice" (3). Ces produits à diluer ne peuvent reproduire toute la complexité de la structure physico-chimique des aliments et de leurs constituants, lesquels influent sur la vitesse de libération des nutriments dans l'organisme, leur absorption et leur efficacité. »*

## Ils peuvent augmenter les prises alimentaires

Avaler en quelques minutes un repas entièrement liquide pourrait perturber notre comportement alimentaire. Ces produits à boire nous dispensent de mastiquer. Or cette fonction est indispensable car elle régule la satiété dont le cerveau envoie le signal vingt minutes après le début du repas. Une étude américaine menée sur 47 volontaires a en effet montré qu'en mâchant davantage, la quantité de nourriture consommée diminuait de 10 % (3). En outre, avec 400 kcal (Vitaline, Queal, Smeal) à 650 kcal (Feed) par portion, les repas à boire n'équivalent pas du point de vue énergétique à un repas complet « entrée, plat, dessert » qui apporte en moyenne 700 à 800 kcal. On peut donc rester sur sa faim et être tenté de grignoter entre les repas poudrés. ■

**Sylvie Boistard**

**JEAN-MICHEL LECERF** Chef du service de nutrition à l'Institut Pasteur de Lille

### À n'utiliser qu'occasionnellement

**« Ces substituts en poudre peuvent être utilisés en dépannage, mais ce n'est pas une façon de se nourrir tous les jours. Ce type d'alimentation liquide peut conduire à des dérèglements du comportement alimentaire et à un déséquilibre nutritionnel, malgré les apparences. C'est une façon de gagner du temps, mais les repas à boire peuvent engendrer de la frustration à long terme. Manger n'a pas uniquement une utilité fonctionnelle. L'alimentation comporte une notion de partage et de plaisir à travers le goût des aliments, leur odeur. On est ici aux antipodes de ce que l'on essaie de récréer, c'est-à-dire cuisiner et manger des produits sains. C'est une vision aberrante de la nutrition. »**

**SMART FOOD** Concept alimentaire proposant des produits nutritionnels complets et nomades. L'objectif est d'apporter une alternative lorsque l'on ne dispose pas du temps ou de la possibilité de cuisiner.

**ISOMALTULOSE** Appelé aussi palatinose, ce sucre utilisé comme édulcorant est l'un des isomères du saccharose, composé de glucose et de fructose.

**NOVA** Classification fondée sur le degré de transformation des aliments, définissant 4 groupes : aliments bruts ; ingrédients culinaires (huile, sucre, etc.) ; aliments transformés (conserves de légumes, etc.) ; ultratransformés (sodas, soupes déshydratées, etc.).

**(1) Actualisation des repères du PNNS : élaboration des références nutritionnelles,** 2016, Anses.

**(2) Isomaltulose (Palatinose): a review of biological and toxicological studies,** Lina BA. et al, *Food and Chemical Toxicology*, 2002.

**(3) Les effets des aliments dépendent-ils des aliments qui le portent ?** L'effet matrice, Lecerf JM. et al, *Cahiers de nutrition et de diététique*, 2015.

**(4) Increasing the number of nhews before swallowing reduces meal size in normal-weight, overweight, and obese adults,** Zhu Y. et al, *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 2013.

**Des neurones du système nerveux sympathique** sont connectés au bulbe pileux. Celui-ci contient des cellules souches pré-ménalocytes qui vont produire le pigment qui donne sa couleur au cheveu. Activés par le stress, ces neurones relâchent une hormone, la noradrénaline, délétère pour les cellules souches de mélanocytes.

ALEXANDER NAKIC/GETTYIMAGES - BRUNO BOURGEOIS

# Pourquoi et comment se faire des cheveux blancs

Face à un stress, une hormone est sécrétée par les neurones empêchant la production de la mélanine, responsable de la coloration des cheveux.

DES CHERCHEURS apportent enfin la réponse à la question si souvent posée : le stress accélère-t-il le blanchissement des cheveux ? Les scientifiques du Centre de recherche des maladies inflammatoires (CRID) de Sao Paulo (Brésil) et de l'université Harvard (États-Unis) ont en effet décrit le mécanisme précis liant le stress et les cheveux blancs dans une étude publiée en janvier dans *Nature*. Thiago Mattar Cunha, l'auteur principal, explique que *« cela fait très longtemps que ce lien était supputé, mais cette croyance n'avait jusqu'alors aucun fondement scientifique »*. Depuis des décennies, le débat reposait en effet davantage sur des observations que sur des expériences. L'un des plus célèbres de ces constats portait sur l'ex-président américain Barack Obama, dont tous les cheveux sont passés du brun au blanc à l'issue de son premier mandat. Bien que, pour beaucoup de scientifiques, les responsabilités de l'homme politique durant cette période plaident plutôt pour l'hypothèse du stress, le patrimoine génétique et l'âge pourraient également expliquer ce grisonnement. Par ailleurs, nombre de pathologies accélèrent également le blanchissement comme l'alopécie, le vitiligo ou encore l'hyperthyroïdie.

Thiago Mattar Cunha et son équipe sont donc allés plus loin : *« Nous avons identifié les mécanismes impliqués »*, affirme-t-il. Pour ce faire, les chercheurs brésiliens et américains se sont d'abord intéressés au grisonnement de souris au poil entièrement noir, exposées à une source de stress. Dans leur expérience, ils ont choisi de perturber les animaux en leur injectant une toxine provoquant des sensations de douleur. Même si, dans la vie quotidienne, le stress peut provenir d'autres sources : une situation inhabituelle, un traumatisme, la pollution, le bruit ou encore des états psychologiques qui diminuent l'estime de soi ou faussent les perceptions... *« Après l'injection de la toxine, nous avons constaté que la fourrure des rongeurs devenait complètement blanche »*, explique Thiago Mattar Cunha, qui avoue avoir été lui-même stupéfait des résultats. Le réseau de neurones du système nerveux sympathique serait activé par la source de stress, relâchant une hormone : la noradrénaline. Or certains de ces neurones seraient connectés aux bulbes pileux situés à la base des cheveux, où se trouve le réservoir de cellules souches qui, à un certain stade de leur développement, donnent des mélanocytes. Ce sont ces dernières cellules qui produisent la mélanine, le pigment qui donne leur couleur à nos cheveux. La noradrénaline sécrétée par les neurones accélère la maturation des cellules souches mélanocytaires... entraînant leur mort avant qu'elles aient pu produire la mélanine. Résultat : les mélanocytes ne sont plus renouvelés et, sans mélanine, les cheveux poussent gris ou blancs.

## Une connexion présente chez d'autres animaux

Hors stress, le blanchissement des cheveux — qui touche tous les individus — est un phénomène naturel sans conséquences sur la santé. Cette connexion entre le système nerveux et les cellules productrices de pigments se retrouve chez d'autres animaux comme les poulpes ou les calmars pourvus de systèmes de coloration sophistiqués qui leur permettent de changer de couleur pour se camoufler ou communiquer. Ce ne sont toutefois pas ces capacités-là que l'évolution aurait conservées chez l'humain, expliquent les scientifiques. Ils ont une autre hypothèse : *« l'activité des cellules souches de mélanocytes, leur activité ou la production de pigments peuvent être modifiées en cas de forte lumière solaire ou d'irradiation UV »*.

La perte de pigmentation serait donc un « dommage collatéral », l'effet secondaire d'un mécanisme de plus grande ampleur. On ne sait pas encore si des applications esthétiques découleront de cette découverte, mais l'équipe nourrit l'espoir de développer un médicament contre le blanchissement. ■

**Héloïse Chapuis**

> « Ce lien était supputé depuis très longtemps, mais cette croyance n'avait jusqu'alors aucun fondement scientifique »
>
> **Thiago Mattar Cunha,** Centre de recherche des maladies Inflammatoires (CRID) de Sao Paulo, Brésil

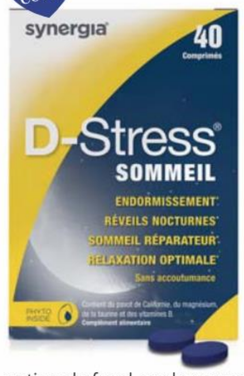




www.lesproduitsdumois.com

## VOS NUITS SEREINES AVEC D-STRESS® SOMMEIL

coup de cœur




Nouveau, découvrez **D-Stress® Sommeil !** D-Stress® Sommeil est l'association inédite de la formule mythique D-Stress®, riche en magnésium, et d'**Eschscholtzia californica (pavot de Californie)**, plante de référence reconnue pour ses propriétés **sédatives** et **apaisantes**.

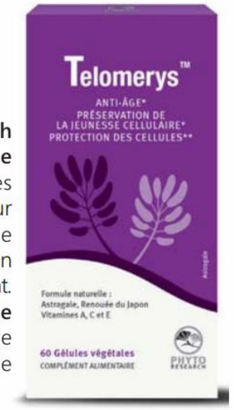
**Efficace dès le 1er comprimé**, il vous aidera à retrouver naturellement, rapidement et durablement un **sommeil profond** et **réparateur**.

L'apport en magnésium permet une action de fond, car le manque de magnésium est l'une des causes des troubles du sommeil. L' Eschscholtzia californica permet une **action immédiate**, il contribue à une relaxation optimale, à une amélioration de l'endormissement et à une réduction des réveils nocturnes. **Sans accoutumance et sans effet secondaire.**

1 à 2 comprimés avant le coucher.

■ Laboratoire Synergia. En pharmacie, env. 14€. Boîte de 40 cp, commandez sur www.synergiashop.com ou par téléphone au 04 77 42 30 10.

## INNOVATION ANTI-ÂGE




Le laboratoire français **PhytoResearch** a mis au point une **formule anti-âge naturelle** basée sur les résultats des dernières avancées scientifiques sur l'astragaloside IV, une substance issue de l'Astragale, une petite fleur utilisée en médecine traditionnelle comme tonifiant. L'astragaloside IV permet de **ralentir le vieillissement** en activant une enzyme appelée télomérase qui est capable de **prolonger la vie des cellules**.

Telomerys associe un extrait concentré de racine d'Astragale à du resvératrol, un **puissant antioxydant**, ainsi que des **vitamines A, C et E**. **Formule anti-âge inédite**, deux gélules par jour suffisent pour constater une **diminution significative des rides**, une **amélioration des fonctions cognitives** (mémoire, concentration) et un regain d'énergie.

■ En pharmacie - Telomerys 60 gél végétales - ACL 6024256.
Convient aux végétariens et aux végétaliens - Non testé sur les animaux.
Plus d'infos au 01 83 96 83 01 (tarif local) - telomerys.com

POUR VOTRE SANTÉ, PRATIQUEZ UNE ACTIVITÉ PHYSIQUE RÉGULIÈRE
Pour paraître dans cette rubrique, R'Médias 01 46 48 85 41 - photos DR.

**Quantité et qualité** de sommeil sont directement liées à notre environnement nocturne. Il est crucial de se protéger du bruit, reconnu comme l'un des premiers perturbateurs.

# 5 questions pour comprendre le sommeil

Il remplit de nombreuses fonctions biologiques et joue un rôle primordial dans notre santé. Mieux connaître ses mécanismes et nos besoins est donc essentiel.

Par Émilie Gillet, avec Agence Forum News

## 1 À quoi correspondent les cycles et les phases de sommeil ?

Le sommeil nocturne se caractérise par l'enchaînement de plusieurs cycles, que l'on peut comparer à des trains. Chaque cycle est composé de plusieurs phases — les wagons —, qui se succèdent. On distingue principalement la phase de sommeil lent léger (10 à 15 minutes) durant laquelle la respiration et le rythme cardiaque ralentissent tandis que le réveil reste relativement facile, le cerveau restant réceptif aux stimuli extérieurs. Celle de sommeil lent profond (45 à 60 minutes), où le cerveau ne perçoit plus aucun signal extérieur, le tonus musculaire est diminué et le réveil très difficile. Enfin, la phase de sommeil paradoxal (10 à 15 minutes), qui se caractérise par des mouvements rapides des yeux sous les paupières, une respiration plutôt irrégulière, une absence de tonus musculaire et une activité cérébrale intense — c'est la phase où les rêves sont les plus nombreux. Un cycle dure en moyenne 1 h 30 min chez l'adulte, et chaque nuit, nous enchaînons entre quatre à six cycles commençant toujours par la phase lente pour se terminer par la phase paradoxale.

### Des nuits de plus en plus courtes

Durée moyenne du sommeil des Français de 18 à 75 ans en semaine ou période de travail :

1962

8 h 42 min par nuit

2017

6 h 42 min par nuit

### Un sommeil difficile

36 % des adultes dorment moins de 6 heures par nuit...

... mais un quart d'entre eux fait une sieste de 50 minutes au moins une fois de semaine.

13,1 % de la population souffre d'insomnie chronique.

Source : Baromètre de Santé publique France 2017.

## 2 Que se passe-t-il quand on dort ?

L'organisme met en route pendant le sommeil de nombreux mécanismes indispensables à sa récupération, ainsi qu'à la construction et à la consolidation de circuits de neurones dans notre cerveau. C'est durant le sommeil lent profond que l'activité cérébrale est la plus limitée et que l'organisme récupère le plus. La température corporelle et la tension artérielle sont plus basses que dans la journée, les rythmes cardiaques et respiratoires plus lents. C'est aussi à ce moment-là que les tissus se régénèrent (notamment grâce à l'action de l'hormone de croissance), et que le foie stocke du glucose. Le sommeil permet aussi une consolidation des défenses immunitaires et une récupération du système cardio-vasculaire. Des études ont montré que le manque de sommeil peut entraîner des troubles de l'attention et de la mémoire, une dérégulation de l'appétit pouvant conduire à une prise de poids — en raison de la modification de la sécrétion des hormones de la satiété — et un risque accru de cancer en cas de travail nocturne avec horaires décalés.

SHUTTERSTOCK

**Ou sur L72, un médicament homéopathique aux 10 substances actives qui agit sur les troubles mineurs du sommeil.**

Difficultés d'endormissement, sommeil agité, réveils nocturnes ou précoces... L72 de Lehning est un médicament homéopathique traditionnellement utilisé dans le traitement des troubles mineurs du sommeil.

- Nouvelle composition.
- À partir de 30 mois
- Chez l'enfant, un trouble du sommeil nécessite une consultation médicale
- Contient de l'alcool
- Sans accoutumance
- Disponible sans ordonnance en pharmacie

FABRIQUÉ EN FRANCE

LEHNING LABORATOIRES

*Lire attentivement la notice. Si les symptômes persistent, consultez votre médecin. Demandez conseil à votre pharmacien. Laboratoires Lehning 3, rue du Petit Marais 57640 Sainte-Barbe. VISA N° 18/03/6 020 203 1/GP/002 - Ref. 2020-PI-005.*

## 3 À quoi servent les rêves ?

Empêcher un être humain de rêver perturbe son équilibre psychique, même si la durée de son sommeil est suffisante. Les chercheurs peinent cependant à définir clairement la fonction du rêve. Certaines hypothèses évoquent la consolidation de la mémoire, la gestion des émotions, l'anticipation, voire l'entraînement à des situations complexes ou dangereuses... Ce qui est certain, c'est qu'il existe des liens forts entre rêves et émotions. Une revue de la littérature scientifique, parue en mars 2019 dans *Frontiers in Psychology*, le rappelle : de nombreuses études ont montré que les processus neuronaux durant les rêves mettent en jeu les mêmes régions cérébrales que la régulation des émotions durant l'éveil. Cela est visible sur des électro-encéphalogrammes (EEG) ou bien par IRM.

## 4 Quels sont nos besoins de sommeil ?

Ils évoluent beaucoup au fur et à mesure de la vie ! De 0 à 3 mois, les nouveau-nés ont besoin de 14 à 18 heures de sommeil par 24 heures, puis de 12 à 15 heures jusqu'à l'âge de 1 an. Une durée répartie en plusieurs périodes puisque ce n'est qu'à l'âge de 6 à 9 mois environ que le sommeil devient majoritairement nocturne. Ensuite, les besoins évoluent pour atteindre 9 à 11 heures par nuit entre 6 et 17 ans. Durant toute cette période de la vie, le sommeil est un facteur essentiel d'équilibre et de réussite à l'école, car il favorise les apprentissages et le bien-être psychique.
À l'âge adulte, la grande majorité de la population a besoin de 7 à 8 heures de sommeil par nuit. En dehors des véritables petits dormeurs (environ 5 à 10 % des adultes), ceux qui dorment moins de 6 heures prennent des risques pour leur santé à court et à long terme. On estime enfin que les plus de 65 ans ont les mêmes besoins de sommeil que les autres adultes. Cependant, le rythme et la qualité du sommeil se fragmentent, le délai d'endormissement augmente et les phases de sommeil profond se réduisent, surtout en cas de maladie chronique. Il faut alors faire éventuellement une sieste de moins d'une heure avant 15 h, s'exposer à la lumière du jour et augmenter son activité physique. Éviter également, pour les plus âgés, de se coucher avant 21 h.

## 5 Quelles sont les conditions pour bien dormir ?

Quantité et qualité de sommeil sont directement liées à l'environnement nocturne. Ainsi, le bruit étant reconnu comme l'un des premiers perturbateurs, il est crucial de s'en protéger avec un double vitrage de qualité ou des bouchons d'oreille. Deuxième facteur extérieur, la pollution lumineuse. Pour s'en prémunir, rideaux et volets mais aussi chasse aux lumières intérieures comme les LED de veille des appareils électriques et les alertes lumineuses sur les smartphones : celles-ci passent à travers les paupières et perturbent la sécrétion de mélatonine, une hormone cruciale pour le sommeil.
La lumière bleue émise par les écrans (ordinateur, smartphone...) peut dérégler l'horloge interne et perturber l'endormissement. Il est préférable de les équiper de filtres et surtout ne plus les utiliser 2 heures avant de se coucher. Il est enfin recommandé de dormir dans une chambre à 18 °C, avec une literie de qualité et de taille suffisante. ■ **É. G.**

**INTERVIEW**

### PR PATRICIA FRANCO
RESPONSABLE DE L'UNITÉ DE SOMMEIL PÉDIATRIQUE, HÔPITAL FEMME-MÈRE-ENFANT DE BRON (HOSPICES CIVILS DE LYON)

## « Un bon sommeil, c'est une bonne mémoire »

***Pourquoi le sommeil est-il crucial pour les apprentissages ?***
Pour acquérir un nouveau savoir, il faut être concentré et attentif, et donc bien reposé. Mais le sommeil est surtout important pour la consolidation de la mémoire. Plusieurs études ont démontré que chez l'enfant comme chez l'adulte, après une bonne nuit de sommeil, il est plus facile de restituer des choses apprises la veille. C'est valable pour la mémoire déclarative, c'est-à-dire ce que l'on apprend par cœur, mais aussi pour la mémoire non déclarative, par exemple l'acquisition d'un nouveau savoir-faire comme le piano ou le vélo.

P. FRANCO

***Comment la mémoire se consolide-t-elle durant le sommeil ?***
Lorsqu'on apprend, les données nouvelles sont stockées dans une sorte de mémoire de travail qui fonctionne à court terme. Le sommeil, avec des cycles complets alternant sommeil lent et sommeil paradoxal, permet au cerveau de trier ces données et de stocker à long terme celles qui sont importantes au niveau du cortex cérébral. C'est durant le sommeil que se constitue en quelque sorte notre mémoire de sauvegarde.

***Les siestes peuvent-elles être utiles à notre cerveau ?***
Oui ! chez les tout-petits, elle est très profitable pour le développement cérébral. Chez les enfants en âge d'aller à la maternelle, il a été montré que faire la sieste en début d'après-midi permet de consolider les apprentissages du matin.
Et l'on retrouve les mêmes résultats bénéfiques chez les adultes. ■ **Propos recueillis par É. G.**



PUBLICITÉ

# Fonctionnement du cerveau

Mémoriser, raisonner, anticiper, planifier, comprendre… les capacités du cerveau sont illimitées.

## Au rythme du cerveau

Le cerveau émet en permanence des ondes dont la fréquence dépend de son activité. Eveil, sommeil, phase intense de réflexion : pour chaque état cérébral, l'activité neuronale est caractérisée par un type d'onde.

Ondes alpha, bêta, gamma : leur rôle est complexe et leur émission par le cerveau dépend de nombreux facteurs, comme l'état psychologique ou encore l'alimentation.

Des études récentes ont par exemple montré le lien étonnant entre Thé vert et ondes alpha. Les feuilles de Thé vert contiennent naturellement une substance appelée L-théanine. Malgré son nom, elle n'a aucun lien avec la théine et ne provoque aucune excitation, bien au contraire. La L-théanine régule la production d'ondes alpha : en situation d'effort intellectuel prolongé, elle est capable de diminuer leur production par le cerveau, ce qui favorise la mémorisation et la concentration. A l'inverse, si le cerveau se trouve en phase d'endormissement, elle stimule leur émission, d'où un effet relaxant propice au sommeil.

## Théorie des signatures

La Théorie des Signatures était une méthode d'observation dans l'Antiquité, selon laquelle l'aspect des plantes était une indication de leurs bienfaits pour le corps. La science moderne a depuis confirmé l'efficacité de certaines plantes sur la partie du corps à laquelle elles ressemblent. Ainsi débarrassée de sa coque, la Noix ressemble fortement à un cerveau. Elle est riche en Omegas et en antioxydants, et plusieurs études ont montré ses bienfaits sur la mémoire.

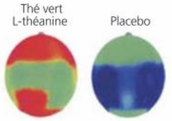
## Indispensable irrigation

Le cerveau est incapable de constituer des réserves, et doit donc être alimenté en permanence en glucose. Celui-ci est apporté grâce à un vaste réseau de capillaires, de petits vaisseaux sanguins qui permettent d'irriguer efficacement l'ensemble du cerveau. Leurs fines parois laissent passer le glucose mais aussi l'oxygène indispensable au bon fonctionnement du cerveau. En effet, quelques minutes seulement sans oxygène y entraîne des lésions irréversibles. Là encore, l'alimentation et le mode de vie en général jouent un rôle primordial. La consommation d'aliments riches en antioxydants qui protègent les capillaires, et plus spécifiquement en polyphénols, influence directement le fonctionnement cérébral. Les recherches convergent notamment sur le Pin maritime, dont l'écorce renferme de grandes quantités de proanthocyanidines ou OPC, des polyphénols capables de stimuler la microcirculation sanguine dans les capillaires.

## B comme bénéfiques

Le cerveau utilise aussi une multitude de vitamines et minéraux pour fonctionner. Un apport suffisant en vitamines B est particulièrement bénéfique pour maintenir des fonctions cognitives normales (mémoire, concentration, attention). La vitamine B5 par exemple est essentielle à la production de neurotransmetteurs, des substances chimiques qui permettent aux signaux électriques de passer d'un neurone à l'autre pour faire circuler l'information.

## Le cerveau passé au scanner




L'activité cérébrale peut être observée grâce au scanner qui met en évidence les zones activées en fonction de l'état dans lequel se trouve le cerveau. La consommation de L-théanine (en rouge) active les zones de la mémoire et de la concentration. Sans L-théanine, ces zones restent inactives (en bleu). Les nombreux travaux de recherche effectués sur le fonctionnement du cerveau ont permis de mettre au point des solutions pour améliorer les fonctions cognitives et les performances intellectuelles. Le laboratoire de recherche végétale New Nordic a mis au point une formule complètement naturelle à base de plantes et vitamines. Baptisée **Cerveau Clair**, elle contient des extraits concentrés de Thé vert, de Noix, de Pin maritime et de Grenade, associés à des vitamines et de l'Iode pour optimiser les performances cérébrales. Ces actifs sont capables d'atteindre le cerveau en quelques heures et sont efficaces sur le long terme. Ils sont donc indiqués pour stimuler les capacités intellectuelles, la concentration et la mémoire, notamment en période de révisions ou d'examens, mais aussi pendant des programmes de plusieurs mois. Les actifs de **Cerveau Clair** atteignent rapidement le cerveau, pour une efficacité en moins d'une heure. Réservé aux adultes de plus de 15 ans.

**Disponible en pharmacie et espace diététique**
**Questions ? Les experts New Nordic vous répondent au 01 84 24 11 35 (tarif local) ou sur www.vitalco.com**
**Cerveau Clair** 60 cp code **ACL 295 18 63**

"Pour votre santé, mangez au moins cinq fruits et légumes par jour" www.mangerbouger.fr

SCIENCES AVENIR CAHIER PARTENAIRE

# L'intelligence artificielle : une alliée de taille dans la lutte contre le cancer

AstraZeneca

FR-5938 02/2020 - Rédaction : E. F. Maquette : Studio MediaObs

AstraZeneca

## L'intelligence artificielle

# Une alliée de taille dans la lutte contre le cancer

**Grâce à l'intelligence artificielle (IA), qui permet l'exploitation des données de santé, l'oncologie est entrée dans une nouvelle ère, riche d'innovations et porteuse d'espoirs. Epaulés par des algorithmes intelligents, les chercheurs et les médecins oeuvrent jour après jour dans la lutte contre le cancer.**

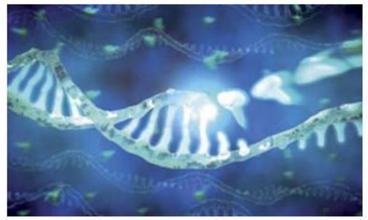
Selon deux nouvelles études, présentées au début du mois de septembre 2019 au Congrès de la Société européenne de cardiologie (ESC), le cancer est devenu la première cause de mortalité dans les pays développés, devant les maladies cardiovasculaires. Dans le même temps, les malades atteints du cancer sont de plus en plus nombreux à guérir, comme le montre un taux de guérison en constante augmentation, toutefois variable selon la localisation et le type de cancer. Il reste cependant beaucoup à faire pour qu'un jour le cancer ne soit plus une maladie mortelle.

### Le cancer, une maladie complexe

Conséquence d'un dérèglement de la prolifération des cellules vieillissantes, le cancer est un mal difficile à appréhender de manière globale. Sur le plan médical, le terme au singulier renvoie à un groupe de pathologies plurielles aux centaines de déclinaisons possibles. Conséquence d'une interaction entre facteurs exogènes – liés à notre environnement – et endogènes – en lien avec notre patrimoine génétique –, cette maladie issue de nous a de quoi dérouter : elle met en jeu de multiples mécanismes de prolifération, pouvant atteindre des organes spécifiques ou gagner les tissus environnants pour former des métastases. En dépit d'éléments histologiques communs, chaque cancer est singulier. Avec le séquençage complet du génome, couplé à l'explosion de la puissance de calcul des machines, chercheurs et médecins prennent chaque jour la mesure de la complexité de cette maladie protéiforme. Grâce à la génomique, nous savons maintenant que les cancers sont des maladies de l'ADN, causés par la mutation de certains gènes ou de ses parties non codantes. Il n'y a pas un gène du cancer, mais une multitude de variants qui diffèrent selon les patients. Chaque malade est donc unique : sa prise en charge exige une approche et des thérapies personnalisées.

### Les affinités électives du cancer et de l'intelligence artificielle

Rien d'étonnant à ce que le cancer, maladie « intelligente » aux capacités d'adaptation infinies, soit devenue une aire thérapeutique privilégiée où l'intelligence artificielle peut déployer ses potentialités et ses solutions. Le cancer et l'intelligence artificielle ont ce trait en commun que les termes utilisés pour les désigner englobent une multitude de réalités. Domaine très vaste fondé sur des algorithmes plus ou moins performants, l'IA permet l'élaboration de machines capables de réaliser des tâches de plus en plus complexes. Elle peut être définie *« par la capacité d'un système à correctement interpréter des données externes, d'apprendre de celles-ci et d'utiliser leurs apprentissages dans le but d'accomplir des tâches. »*[1] Depuis ses premières modélisations dans les années 1950, avec le test de Turing, l'histoire de l'IA est celle de perfectionnements successifs. Le Machine Learning, qui consiste dans l'application de méthodes statistiques à des algorithmes, est un processus permettant à l'IA d'apprendre ; le Deep Learning, en s'inspirant du fonctionnement de notre cerveau et de ses réseaux neuronaux, est capable de trier et d'extraire par lui-même des informations tirées de larges banques de données. Ces données numériques, appelées Big Data en raison de leur volume massif estimé à 2,5 trillions d'octets par jour, sont le carburant de toutes ces IA. ■



*1. A. Kaplan, M. Haenlein, Siri, Siri, in my hand : Who's the fairest in the land ? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence, Business Horizons, vol. 62, no. 1, p. 15-25,2019.*

## MESONET, LE NOUVEAU MODÈLE D'ANALYSE DE LA STARTUP OWKIN

*En collaboration avec l'Inserm, la startup française Owkin a mis au point un nouveau modèle d'analyse, surpassant les performances de tous les modèles d'analyse d'imagerie existants. Son nom ? MesoNet. En se basant sur des images de biopsies pleurales, cette intelligence artificielle serait capable de prédire l'évolution du mésothéliome, forme rare et virulente d'un cancer qui affecte le revêtement des poumons, de la cavité abdominale ou de l'enveloppe du cœur. Selon une enquête de l'Inserm, cette maladie rare, parfois qualifiée de « cancer de l'amiante », est la cause d'un nombre de décès en constante augmentation. L'identification des nouvelles caractéristiques biologiques de la maladie va permettre la mise au point de traitements plus ciblés.*

**Domaine en pleine expansion, l'intelligence artificielle et ses algorithmes au cœur de la médecine en ont révolutionné les pratiques. En oncologie, certaines de ses applications réalisent déjà des prouesses, sans pour autant se soustraire aux praticiens.**

En 1997, quand le supercalculateur Deep Blue bat le champion d'échecs Gary Kasparov sur son terrain d'excellence, qui aurait envisagé que vingt ans plus tard un calcul opératoire prédirait le risque de troubles du sang, de fièvre et d'infections pour certains patients sous chimiothérapie ou qu'un ordinateur serait presque aussi pertinent que les dermatologues pour identifier un mélanome sur une photographie ? Avec le Deep Learning, croiser et analyser une masse de données hétérogènes accumulées dans les hôpitaux et les laboratoires de recherche médicale – images d'anatomo-pathologie, coupes tissulaires et cellulaires, données cliniques, biostatistiques, génomiques… – n'est plus un impensable.

## L'intelligence artificielle pour un dépistage précoce du cancer du poumon

Pour le Professeur Charles-Hugo Marquette, récipiendaire d'une bourse de recherche, dans le cadre de l'appel d'offre EXPLORE, financé par le groupe pharmaceutique AstraZeneca, *« l'IA est un catalyseur dans le dépistage du cancer du poumon. »* Première cause de mortalité par cancer, le cancer du poumon compte, par an, dix fois plus de victimes que les accidents de la route ; on estime qu'à partir de 2022, il sera responsable chez les femmes de plus de décès que le cancer du sein, comme c'est déjà le cas en Angleterre. Comment s'en prévenir ? En arrêtant le tabac. Comment diminuer la mortalité ? En encourageant le dépistage précoce de la maladie, meilleur garant des chances de survie. Aujourd'hui, trois quarts des cancers du poumon sont diagnostiqués à un stade localement avancé ou métastatique, le paradigme s'inverse dans les mêmes proportions avec le dépistage par scanner thoracique : trois quarts des cancers alors dépistés le sont à un stade localisé plus facilement guérissable.

## Les CADe et les CADx

Pour décrypter les 300 à 400 images par scanner au sein desquelles il faut débusquer un nodule de 5 mm, les médecins sont aidés par des CADe (Computer-Aided Detection), des assistants électroniques surentraînés. Comme c'est le cas pour le dépistage du cancer du sein ou celui du cancer de la peau, ces logiciels pointent les zones suspectes d'une image. C'est alors qu'interviennent les CADx (Computer-Aided Diagnostics), qui grâce au deep learning, caractérisent la nature du nodule en bénin ou malin avec une précision avoisinant les 100%. Selon le professeur Marquette, lors de la 4e édition de l'événement AnticiP dédié au futur de l'oncologie, *« il ne faut pas limiter l'application du Deep Learning à l'étude de l'imagerie mais intégrer à la signature radiologique les signatures biologiques et clinico-épidémiologiques, signatures aux dynamiques très différentes. Seule l'IA est capable de cette approche holistique. ».* ■

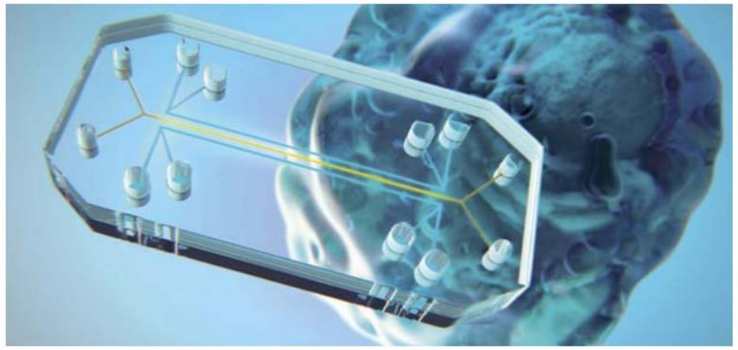
## L'APPEL À PROJETS EXPLORE-DÉPISTAGE DU CANCER DU POUMON

*Le groupe pharmaceutique AstraZeneca lance un appel à projets EXPLORE-Dépistage du cancer du poumon. Son objectif ? Soutenir des projets scientifiques français visant à perfectionner les connaissances et les outils utiles au dépistage du cancer du poumon. Première cause de décès par cancer chez l'homme, ses symptômes passent souvent inaperçus ou surviennent alors que la maladie est déjà à un stade avancé… quand elle est diagnostiquée, c'est déjà tard : cinq ans après le diagnostic, les études montrent que seulement 16% des personnes diagnostiquées sont encore en vie. Sur les 49 000 nouveaux cas de cancer du poumon diagnostiqués par an en France métropolitaine, on estime qu'un dépistage précoce pourrait sauver 7500 vies.*





**Malgré la révolution qu'elle promet dans le domaine de la santé, l'intelligence artificielle a encore de nombreux obstacles à franchir et quelques craintes à dissiper avant d'imposer ses atouts.**



Développement des algorithmes d'apprentissage automatique, prolifération des données numériques et biométriques, accélération exponentielle de la puissance de calcul… Les preuves des apports révolutionnaires de l'intelligence artificielle ne sont plus à faire. Capables de fournir des diagnostics précis et des thérapeutiques ciblées, les machines intelligentes sont les meilleures alliées des patients, points de convergence de la médecine des 4 P : prédictive, préventive, personnalisée et participative.

## Des freins juridiques et législatifs

Issues de sources multiples et variées, les données cliniques, génomiques, phénotypiques, épidémiologiques récoltées sur chaque patient permettent de personnaliser la prise en charge de chacun ; leur traitement, leur exploitation et leur analyse sont des enjeux majeurs pour l'oncologie du futur. Alors que l'accès à un grand volume de données de qualité est l'un des enjeux majeurs de la performance des IA, le secteur de la santé français se trouve dans une situation paradoxale : plus nombreuses que dans les autres pays, les données sont dans le même temps moins accessibles, conséquence d'une législation européenne stricte qui limite leur exploitation. Des lois jugées « régaliennes » par certains médecins et chercheurs qui, dans un univers très compétitif, ralentissent l'avancée de leurs travaux. Autre paradoxe, qui s'étend à tout le continent : alors que leurs données personnelles sont les mieux protégées par les lois, et que le non-respect du consentement libre et éclairé de chaque patient est assorti de sanctions majeures, ce sont les Européens qui se montrent les plus inquiets de l'usage que l'on pourrait faire de leurs données.

## Les freins symboliques de l'imaginaire

Selon une étude publiée en 2018 par OpenText, 45 % des Français pensent que l'intelligence artificielle permet un constat médical plus sûr ; mais seule une personne sur trois dit avoir confiance dans ses pouvoirs. Derrière cette méfiance, la crainte d'une intimité percée à jour, disséminée et manipulée à des fins mercantiles, la peur aussi que la réalité ne rejoigne les fictions dystopiques emplies de robots et de machines autonomes qui ont pris possession des hommes pour les soumettre. Scénario catastrophe que le co-fondateur du laboratoire d'innovation Anima, Alexandre Cadain, nomme *« l'imaginaire de Terminator »* gâchant d'après lui les opportunités fabuleuses offertes par l'intelligence artificielle. La singularité technologique, credo en vogue dans la Silicon Valley, voudrait qu'il arrive un moment dans le futur où la machine dépasse les capacités humaines dans toutes les tâches de notre vie quotidienne. Une logique qui repose sur une loi empirique, la loi de Moore, notant que la puissance de calcul des circuits intégrés double tous les 18 mois. Pour Alexandre Cadain, il faut disséquer les imaginaires véhiculés par l'IA pour les déconstruire et en proposer d'autres, plus positifs, dans le sens du bien commun.

## Le futur de la lutte contre le cancer est lié au futur de l'IA

L'intelligence est un processus qui convertit un chaos d'informations non structurées en connaissances actionnables. L'intelligence artificielle permet le développement d'outils technologiques capables de synthétiser, d'automatiser, d'optimiser une partie de ce processus pour permettre aux experts et aux spécialistes d'aborder des défis jusqu'à présent inaccessibles à notre entendement. Loin de construire des machines qui deviendraient intelligentes pour nous remplacer, il faut penser la machine servant de filtre à la complexité du monde pour le rendre « entendable ». L'enjeu n'est pas la compétition entre deux intelligences mais réside dans leur complémentarité. Jamais une puissance de calcul n'abolira la puissance de l'intelligence humaine, faite d'intuitions et de capacités d'abstraction… Forts de cette évidence, nous pouvons continuer notre voyage dans le futur de l'IA de manière sereine. Jusqu'à ce qu'un jour peut-être, un monitoring permanent et pour tous donne l'alerte dès l'apparition de la première cellule cancéreuse dans notre organisme.

## HEALTH DATA HUB, UNE PLATEFORME FÉDÉRATRICE

*30 novembre 2019 : le gouvernement français officialise la création d'une plateforme d'exploitation des données de santé. Son nom ? Le Health Data Hub. Cette bulle sécurisée rassemble en un portail unique des données de santé massives et hétérogènes : les données de l'Assurance maladie, des hôpitaux et du CépiDC de l'Inserm, base qui recense les causes médicales de décès. Pour pouvoir y accéder, les entreprises privées et les organismes de recherche devront justifier l'intérêt général de leur projet et recevoir l'aval de la CNIL. En janvier 2020, un groupe de travail, sous la direction du professeur Yves Lévy, a été mise en place avec pour mission d'identifier les premières bases à mettre au catalogue du Health Data Hub.*

# L'Europe met en chantier « l'Airbus des batteries »

Avec l'essor de la voiture électrique, l'Union européenne veut fédérer ses industriels pour contrer l'hégémonie asiatique. Cela passe par le développement d'une nouvelle génération de batteries, mais les verrous technologiques restent nombreux.

**Par Olivier Hertel** @OlivierHertel

GREG BAKER / AFP

L'EUROPE VEUT REBOOSTER... SES BATTERIES. Et vite ! Elle a autorisé sept de ses membres (France, Allemagne, Belgique, Finlande, Suède, Italie et Pologne), en décembre 2019, à aider financièrement leurs entreprises pour développer l'Alliance européenne de la batterie (EBA), surnommée « l'Airbus des batteries » du nom du constructeur aéronautique européen à succès. Un projet à 3,2 milliards d'aides publiques — dont environ 960 millions d'euros pour la France — qui vise à faire émerger toute une filière industrielle, capable de contrer l'hégémonie asiatique dans le domaine. Car il y a urgence ! L'Union européenne (UE) ne produit pour l'heure que 3 % des quelque 150 gigawattheures (GWh) d'énergie stockés chaque année dans le monde dans des batteries lithium-ion, la technologie la plus répandue aujourd'hui... contre près de 65 % pour la Chine. Sans oublier les champions industriels que sont Panasonic (Japon) et LG Chem (Corée du Sud).

C'est le développement du véhicule électrique qui devrait faire exploser le marché du lithium-ion dans les prochaines années. Il se vendra en effet dans le monde 25 millions de voitures électriques à partir de 2025 selon le cabinet de conseil américain Frost & Sullivan, soit environ dix fois plus qu'en 2019. Des véhicules dont environ la moitié du coût... est représentée par la batterie. Résultat : rien qu'au sein de l'UE, *« la demande en batterie est estimée entre 200 et 400 GWh par an en 2025. L'objectif est donc de répondre à une grande part de cette demande en Europe grâce à la construction de "gigafactories", d'immenses usines capables de fournir plusieurs GWh par an »*, explique une porte-parole de la Commission européenne. La première de ces gigafactories sera construite en Suède dès cette année. D'autres doivent sortir de terre dans les mois et années à venir en Allemagne, en Pologne, en Hongrie ainsi qu'en France. Au total, il faudrait dix à vingt de ces unités pour couvrir les besoins de l'UE.

**Dans son laboratoire du Collège de France,** Jean-Marie Tarascon travaille à des prototypes de batteries tout-solide.

JULIEN FAURE/LEEXTRA

Mais l'Airbus des batteries n'est pas qu'un projet industriel. Il a aussi une importante composante recherche visant à mettre au point la batterie du futur. Sur ce sujet, une technologie revient sans cesse dans les conversations : la batterie dite tout-solide *(voir l'infographie p. 99)*. Principal avantage : *« Elle permet d'atteindre une densité d'énergie massique de 500 watt-heures par kilogramme (Wh/kg), soit le double de ce qui existe actuellement »*, explique Patrice Simon, professeur en sciences des matériaux à l'université Paul-Sabatier de Toulouse et directeur adjoint du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E), une structure de recherche et de transfert technologique créée par le CNRS et le ministère de la Recherche. De quoi doubler l'autonomie des voitures électriques, la faisant passer de 400 km aujourd'hui à 800 km. C'est cette promesse qui est à l'origine d'une véritable fièvre du tout-solide, partie du Japon. *« Dès 2017, le constructeur automobile japonais Toyota a annoncé qu'il sortirait une batterie tout-solide en 2022, capable de se charger en quelques minutes. Et quand Toyota fait un mouvement, tout le monde suit ! Sur toute la planète, industriels et laboratoires se sont aussitôt lancés sur le sujet »*, rappelle Jean-Marie Tarascon, directeur du RS2E et professeur au Collège de France. L'Europe n'échappe pas à cette ruée. À travers l'EBA, elle parie aussi sur la batterie tout-solide — qui se doit d'utiliser du lithium métallique pour être compéti-

**Avec 25 millions de véhicules électriques** vendus dans le monde en 2025, le marché des batteries va s'envoler. (Ici, le châssis et les batteries d'un modèle chinois présenté à Shanghai, en avril 2019.)

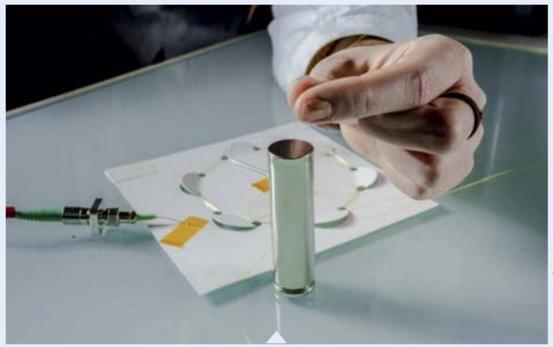
> « Toyota a annoncé une batterie tout-solide pour 2022. Et quand Toyota fait un mouvement, tout le monde suit »
>
> **Jean-Marie Tarascon,** professeur au Collège de France, directeur du Réseau sur le stockage électrochimique de l'énergie (RS2E)

DURABILITÉ ET RECYCLAGE

# Demain, les batteries seront intelligentes et autoréparatrices

Outre l'augmentation de leurs capacités, les batteries doivent réduire leur impact environnemental. Un impératif qui passe notamment par une plus grande longévité. Ainsi, des batteries ayant eu une première vie dans l'automobile pourront être recyclées pour faire du stockage sur les réseaux électriques. *« Mais pour cela il faut connaître l'histoire de la batterie, son état de santé, etc. Le seul moyen d'y parvenir est d'intégrer des capteurs qui assureront ce suivi durant toute sa vie »*, explique Jean-Marie Tarascon, directeur du RS2E et professeur au Collège de France. Ces capteurs mesurent les variations de pression ou encore de température au cœur de la batterie.

À partir de ces données il est possible de suivre l'évolution des réactions chimiques, notamment celles non désirées, témoins d'un fonctionnement anormal. Un projet prévoit d'ajouter à ces futures batteries, une fonction autoréparatrice en intégrant des microcapsules remplies d'un liquide conducteur. Quand une électrode est endommagée par une craquelure, que le courant ne peut plus passer, l'enveloppe des microcapsules est brisée. Le liquide conducteur se répand et rétablit le contact. Le courant pourra alors de nouveau circuler. Ces batteries intelligentes sont au cœur du projet de recherche européen Battery 2030+. Elles ne devraient pas voir le jour avant dix ou quinze ans.



JULIEN FAURE/LEXTR

**Ce prototype d'accumulateur,** développé au Collège de France, est doté d'une sonde en fibre optique.

tive — comme potentielle technologie post-lithium-ion. Saft, une filiale de Total impliquée dans cette course, a même retenu la date de 2025 pour y parvenir, à en croire les propos de l'un de ses vice-présidents, Jean-Baptiste Pernot, lors d'une présentation auprès de la Banque publique d'investissement (BPI France) en mai 2019 : le dirigeant annonçait une commercialisation de batteries tout-solide pour les applications stationnaires (stockage des énergies renouvelables intermittentes). Mais l'industriel français n'est pas le seul à s'enthousiasmer. Gilles Normand, directeur division véhicules électriques du groupe Renault, a lui aussi prédit dans le *Financial Times* l'avènement du tout-solide en 2025 *« si possible »*. Même type de déclaration chez BMW, Samsung ou encore Bentley qui, en janvier dernier, prévoyait le lancement de son premier modèle électrique avec des accumulateurs tout-solide en 2025.

## Les annonces suscitent prudence et scepticisme

Pourtant, la conception de ces batteries est très complexe, entravée par de nombreux verrous technologiques. Si bien que pour Jean-Marie Tarascon, *« il est impensable de voir de tels dispositifs industrialisés avant 2030. Nous n'avons même aucune assurance que cette technologie puisse être commercialisée un jour »*! Un avis partagé par tous les chercheurs que nous avons interrogés : *« C'est déjà compliqué de les mettre au point en laboratoire, alors au niveau industriel… »*, commente ainsi Virginie Viallet, spécialiste des batteries tout-solide au Laboratoire de réactivité et chimie des solides à Amiens. Un scepticisme partagé par son collègue Christian Masquelier, professeur de chimie et spécialiste des batteries au lithium : *« Nous prenons avec prudence les annonces faites par les industriels sur ces projets. »* Même chez Saft — et ce malgré les annonces — la prudence semble de mise : *« Nous visons 2030 pour l'industrialisation du tout-solide »*, assure Patrick Bernard, le directeur de la recherche. *« Cela fait trente ans que laboratoires et industriels du monde entier tentent de dompter l'électrode de lithium métal, sans succès*, reprend Jean-Marie Tarascon. *Nous sommes en train de faire bégayer l'histoire car il faut se souvenir d'une même flambée de fièvre en 2013 après les annonces prometteuses de Toyota sur la technologie lithium-air. Tout le monde avait alors suivi… mais sept ans plus tard, plus personne n'en parle. »* Le scientifique a d'ailleurs lancé une « task force » sur la batterie tout-solide réunissant plusieurs laboratoires et industriels français au sein du réseau RS2E. L'objectif est de développer plusieurs prototypes et d'évaluer d'ici à 2025 si cette technologie a une chance de sortir. Et si oui, quand ?

VIRGINIE VIALLET

« Mettre au point la technologie du tout-solide est déjà compliqué au laboratoire, alors au niveau industriel… »

**Virginie Viallet,** spécialiste des batteries tout-solide au Laboratoire de réactivité et chimie des solides à Amiens

## Les Japonais nettement en avance sur les Européens

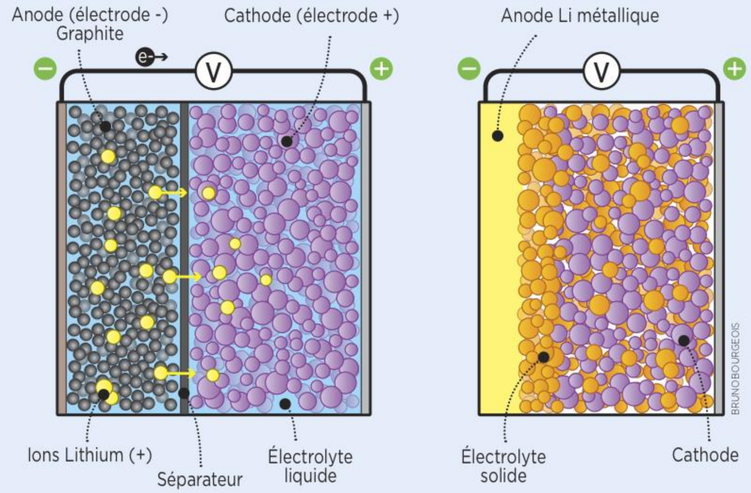
Par ailleurs, même si ces batteries parvenaient à atteindre le marché, rien ne garantit que les investissements importants consentis par les pays européens fassent émerger le champion tant espéré. Cette révolution a en effet davantage de chance de venir du Japon. *« Les Japonais sont nettement plus avancés. C'est notamment au chercheur Ryoji Kanno que l'on doit la découverte du premier électrolyte solide aussi performant qu'un électrolyte liquide, en 2011 »*, rappelle Jean-Marie Tarascon. Ce sont même ses travaux publiés dans *Nature Materials* qui ont relancé l'engouement pour cette technologie. À cela, s'ajoute un outil industriel performant qui a largement fait ses preuves sur le lithium-ion.
L'Europe aurait-elle fait une erreur en misant autant sur le développement d'une nouvelle technologie de batterie ? C'est ce que craint le professeur au Collège de France au vu de l'avance de l'Asie dans ce domaine. Selon lui, il faut se concentrer sur les batteries intelligentes et autoréparatrices *(lire l'encadré p. 98)*. Une technologie à laquelle s'intéresse aussi l'Europe à travers un autre projet nommé Battery 2030+, et que le chercheur a déjà commencé à développer au laboratoire… Au cas où ! ■





PHYSICO-CHIMIE

# Plus d'énergie accumulée grâce au « tout-solide »




### LITHIUM-ION

Une batterie lithium-ion, qui équipe smartphones et voitures électriques, est constituée de trois composants principaux : l'anode (électrode négative), la cathode (électrode positive) et un électrolyte liquide qui baigne les deux électrodes. Quand la batterie se décharge, le lithium, inséré dans le graphite de l'anode, a tendance à perdre ses électrons (e-) qui s'échappent par le circuit extérieur vers la cathode. Ce courant peut ainsi alimenter un appareil électrique. Les ions lithium (Li+), devenus instables, sont alors attirés vers la cathode où ils retrouvent les électrons qu'ils ont perdus. Ils migrent *via* l'électrolyte qui sépare les deux électrodes sans laisser passer les électrons bloqués par le séparateur. La batterie se décharge. Pour la recharger, il faut donc renvoyer les ions lithium vers l'anode. Ce processus demande de l'énergie. D'où la nécessité de brancher la batterie sur le secteur.

### TOUT-SOLIDE

Le principe est le même que celui du lithium-ion. Principales différences : l'anode est dépourvue de graphite et constituée uniquement de lithium métallique, tandis que l'électrolyte est solide, sous forme de poudre afin d'assurer un contact étroit avec les électrodes pour permettre le passage du courant. En se passant du graphite, il est possible d'accumuler jusqu'à dix fois plus de lithium et donc beaucoup plus d'énergie à masse et volume égaux. *« Le problème est qu'à mesure des recharges, le lithium métallique a tendance à former des filaments (dendrites) qui se dirigent vers la cathode et provoquent des courts-circuits si l'électrolyte est liquide »*, explique Patrice Simon, directeur adjoint de RS2E. Théoriquement, l'électrolyte solide doit permettre de bloquer la formation des dendrites. Pourtant, cela ne résout pas tout. L'électrolyte en poudre réagit fortement avec la cathode (qui est aussi une poudre) et la dégrade. Il faut enrober les poudres pour éviter ce contact direct tout en laissant passer le courant. Or, cette structure composite est très complexe à maîtriser.

# Google City, une ville « intelligente » sous haute surveillance

Le géant américain des technologies promet de faire de Toronto, au Canada, un centre mondial de l'innovation urbaine en bâtissant une « smart city » sur une friche industrielle. Mais l'utilisation des données collectées suscite de très nombreuses craintes.

D'un côté, le Grand Toronto (Canada), une aire urbaine d'environ 6000 km² et 7 millions d'habitants. De l'autre, le lac Ontario, immense étendue d'eau, l'un des cinq grands lacs d'Amérique du Nord. Entre ces deux géants, Quayside, une friche de béton d'à peine 4,8 hectares sur laquelle un autre colosse tente de se faire une petite place. C'est effectivement sur cette zone portuaire désaffectée, que Google envisage dans les prochains mois de lancer la construction de sa première « *smart city* », une ville intelligente truffée de capteurs et d'algorithmes... Enfin, si tout se passe bien. Car si le projet de la firme de Mountain View (États-Unis) a, dans un premier temps, séduit, il a vite viré au cauchemar, dévoilant un projet de ville plus surveillée qu'intelligente.

Pour comprendre comment ce projet d'aménagement s'est transformé en une gigantesque machine à collecter les données, il faut revenir à sa genèse. En octobre 2017, Sidewalk Labs, société sœur de Google, filiale comme elle d'Alphabet, remporte l'appel d'offres pour l'aménagement de Quayside. L'initiative a été lancée par Waterfront Toronto, un organisme public chargé de « *revitaliser les rives de la ville* » marquées par leur passé industriel. Si l'entreprise américaine a gagné la compétition, c'est parce que son projet est alléchant. Il promet de faire de Toronto un centre mondial de l'innovation urbaine, entre bien-être, développement durable, technologies de pointe et croissance économique.

DRONEBOY/SIDEWALK LAB

**Quayside,** une zone portuaire et industrielle désaffectée au bord du lac Ontario (Canada) où Google entend bâtir un quartier bardé de capteurs et contrôlé par des algorithmes.

### Une organisation dynamique de la rue et des mobilités

Au menu, un déploiement impressionnant de technologies conformes au concept de *smart city* : « *Une ville qui a recours à l'utilisation massive des nouvelles technologies et des données qu'elles collectent pour améliorer les services existants et en créer de nouveaux* », rappelle Cécile Maisonneuve, présidente de la Fabrique de la cité, un *think tank* dédié à la prospective urbaine. Ainsi, Sidewalk Labs propose la mise en œuvre d'une organisation dynamique de la rue et des mobilités avec, entre autres, un système de gestion en temps réel du trafic. Ce dernier analyse tous les déplacements et coordonne en continu la signalétique, les feux, l'utilisation des voies, les passages piétons, etc. Le système est alimenté par toutes sortes de données provenant de caméras qui scrutent les rues, jusqu'aux capteurs qui détectent la position, le nombre et la vitesse des cyclistes en passant par la localisation des véhicules équipés de GPS, etc. À terme, viendront s'insérer des flottes de voitures autonomes en libre-service, elles-mêmes pourvoyeuses d'une grande masse de données captées dans leur environnement direct. Afin de favoriser les déplacements à pied et à vélo durant l'hiver, les trottoirs et les pistes cyclables seront dégelés. Ce dispositif est bien sûr connecté en temps réel avec les prévisions météorologiques afin d'anticiper l'arrivée d'une tempête.

Les bâtiments n'échappent pas à la supervision numérique : analyse du bruit, de l'air, détection de polluants, gestion automatique du chauffage en fonction du taux d'occupation et de la météo, etc. Même la logistique et l'élimination des déchets passent sous contrôle des algorithmes *(voir l'infographie ci-dessus)*. Les livraisons du dernier kilomètre seraient assurées depuis un *hub* (plate-forme) vers tous les logements par un réseau de tunnels. Les marchandises seraient placées dans des conteneurs intelligents transportés sur des chariots électriques autonomes. Même les déchets seront évacués par ce *hub* où ils arriveront par trois sortes de tubes pneumatiques (déchets organiques, matières recyclables, autres déchets) reliés aux habitations.

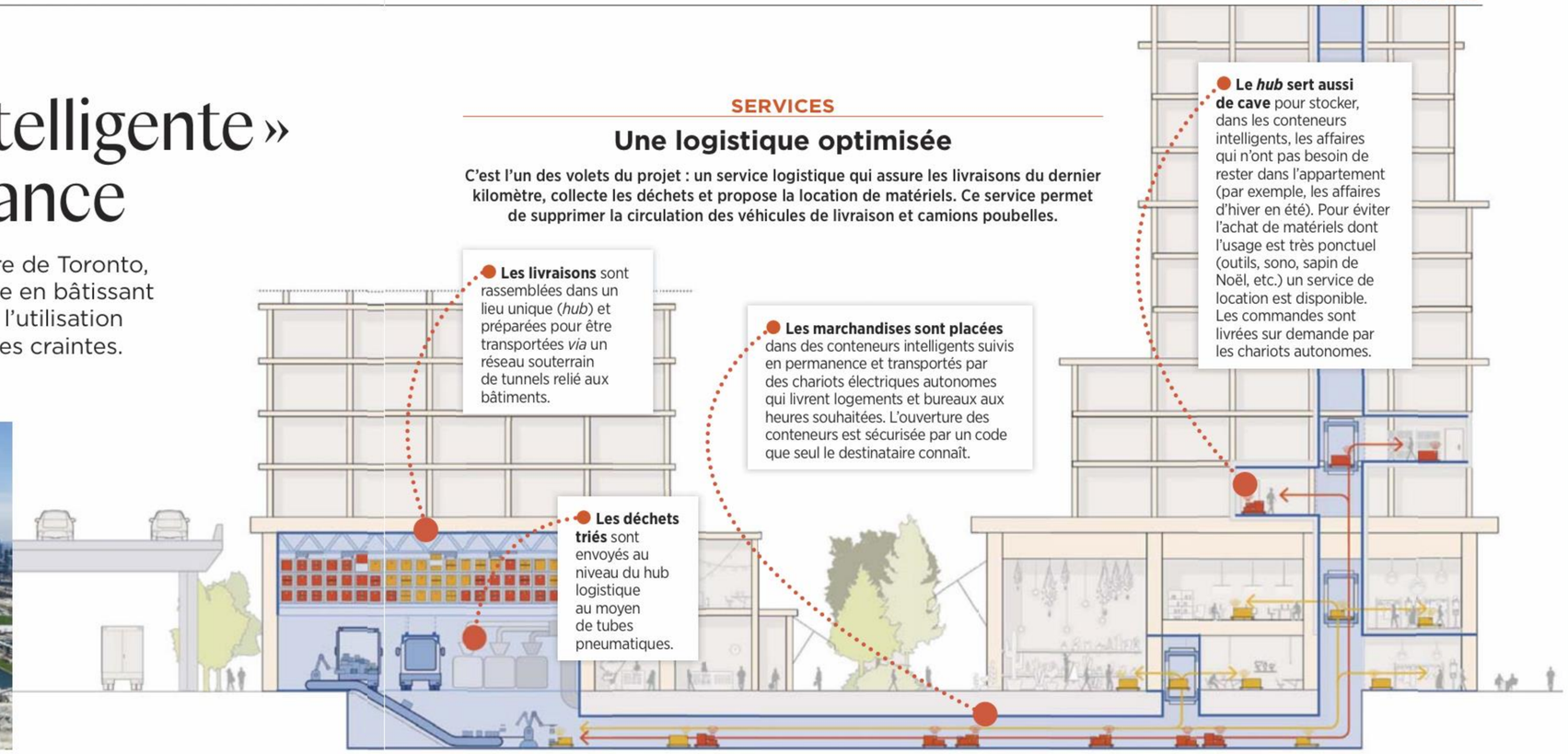
Difficile pour une ville de résister à une telle offre de services. Et ce n'est là qu'un échantillon. Problème : les 1500 pages du document MIDP (Master Innovation and Development Plan) rédigé par Sidewalk Labs comportaient aussi quelques surprises de taille. Le projet ne se limitait plus aux 4,8 ha de Quayside prévus par l'appel d'offres mais s'étendait sur 77 ha. Le site est baptisé IDEA district (District de l'accélération de l'innovation, du design et de l'économie), sur lequel 4,6 ha sont réservés à l'installation du nouveau siège de Google Canada ! La firme se réserve aussi le développement immobilier de Quayside et du quartier voisin de Villiers Ouest. Toronto prend alors des allures de Google City.

Mais l'appétit de la compagnie pour le foncier n'est pas ce qui a le plus inquiété Waterfront Toronto et la population. Le MIDP introduit deux notions nouvelles sur les données : l'« *urban data* » et le « *data trust* ». « *La première englobe*

SERVICES

## Une logistique optimisée

**C'est l'un des volets du projet : un service logistique qui assure les livraisons du dernier kilomètre, collecte les déchets et propose la location de matériels. Ce service permet de supprimer la circulation des véhicules de livraison et camions poubelles.**




SIDEWALK LAB

BERANRD MARTINEZ

« L'utilisation de la reconnaissance spatiale dans l'espace public transforme la ville optimisée en ville surveillée »

**Cécile Maisonneuve,** présidente de la Fabrique de la cité, « think thank » dédié à la prospective urbaine

TOYOTA MOTOR CORPORATION

**Woven City** pourra accueillir 2000 habitants sur 70 hectares (vue d'artiste).

EXPÉRIMENTATION

## Un prototype de ville du futur au pied du mont Fuji

Un laboratoire vivant, à l'échelle d'une ville. Voilà la vision de Toyota pour sa Woven City, dont le projet a été dévoilé en janvier à l'occasion du CES (salon de l'innovation en électronique grand public) de Las Vegas (États-Unis). Le géant japonais de l'automobile prévoit de construire au pied du mont Fuji (Japon), un *« prototype de ville du futur »*. Résidents et chercheurs pourront y tester et développer toutes sortes de technologies : des robots assistants, des maisons intelligentes, des capteurs corporels pour suivre la santé des personnes, etc. Bien sûr, un constructeur automobile ne peut pas faire l'impasse sur les voitures, mais seuls des véhicules autonomes électriques seront autorisés à circuler sur les grands axes. Habitants, bâtiments et véhicules seront interconnectés et pourront ainsi communiquer et s'échanger des données, assure Toyota dans son communiqué de presse. Enfin, Woven City s'annonce écologique : son énergie proviendra de panneaux solaires et de piles à combustible dont l'hydrogène sera produit à partir de sources renouvelables. La construction doit commencer en 2021. La ville pourra accueillir 2000 personnes sur environ 70 hectares. Reste à savoir si son empilement de technologies attirera au-delà des *geeks*.

**POUR EN SAVOIR PLUS**

Le projet de ville du futur de Toyota, Wowen City : **sciav.fr/877toyota**

*toutes les données recueillies dans le milieu urbain. Elle gomme la distinction entre données protégées, comme les données personnelles, et non protégées, comme celles sur la qualité de l'air, le bruit, etc. Quant au* data trust, *c'est une sorte d'instance nouvelle dotée d'un pouvoir sur l'usage des données. Or, il existe déjà des lois qui régissent leur collecte et leur utilisation »*, explique Chantal Bernier, ancienne présidente du Commissariat à la protection de la vie privée du Canada, équivalent de la Cnil française. Pour cette avocate spécialiste de la cybersécurité et de la protection de la vie privée, la proposition de Sidewalk Labs est une tentative d'abaissement des normes canadiennes. Une initiative qu'analyse Cécile Maisonneuve : *« Google est venu se positionner en aménageur urbain. Il a besoin de données. Il crée les concepts* d'urban data *et de* data trust *pour les réguler. Mais ces concepts n'ayant aucun fondement juridique, ça coince. C'est emblématique du nouveau débat qui anime le développement des* smart cities, *qui ne tourne plus autour des technologies, mais des données et de leur usage. Le sujet est particulièrement sensible avec l'utilisation de la reconnaissance faciale dans l'espace public. On passe de la ville optimisée à la ville surveillée. »*

Pour Raphaël Languillon, spécialiste de l'aménagement urbain à l'université de Genève, le problème du développement des *smart cities* tient à un rapport déséquilibré entre l'acteur public (la ville) et l'acteur privé (l'entreprise) : *« Le cas de Toronto est celui d'un partenariat entre une municipalité ayant peu de moyens et une entreprise bien dotée en ressources financières et en compétences. La clé, c'est le contrat. La ville doit établir un contrat qui anticipe ses besoins et lui permette de ne pas être dépendante d'un partenaire privé, voire de pouvoir s'en séparer. Mais il lui faut des ressources juridiques importantes. »*

### Capter de la donnée pour créer de la valeur

Un point de vue que partage Carlos Moreno, directeur scientifique de la chaire ETI (Entrepreneuriat, territoire, innovation) à l'université Paris-I : *« La problématique de Google est de capter de la donnée afin de créer de la valeur car c'est la plus grande plate-forme de publicité. Mais Toronto n'a pas accepté. Les villes ne se laissent plus faire quand la gouvernance est solide. »*

Dans les prochaines semaines, Waterfront Toronto doit rendre publique sa décision de s'engager ou non avec Sidewalk Labs. En signe d'apaisement, la firme américaine a déjà renoncé à s'étendre au-delà de Quayside. Elle a aussi abandonné ses concepts d'*urban data* et de *data trust*. En mai 2019, dans une tribune du *New York Times*, Sundar Pichai, le P-DG d'Alphabet, maison mère de Google et de Sidewalk Labs, déclarait : *« La vie privée ne doit pas être un bien de luxe. »* Un propos qu'il répétait le 22 janvier au forum économique mondial de Davos. Toute la question est de savoir s'il est sincère... ■

**Olivier Hertel** @Olivierhertel





# Jouer de la flûte baroque imprimée en 3D

Le laboratoire de recherche du musée de la Musique, à Paris, a reproduit fidèlement une flûte traversière du début du XVIIIe siècle après une analyse du matériau par tomographie à rayons X. Une façon d'étudier les instruments anciens sans les abîmer.

COMMENT PEUT BIEN SONNER la flûte traversière de buis et d'ivoire du facteur d'instruments à vent Jean-Martin Hotteterre (1673-1763) conservée au musée de la Musique à Paris ? Pour répondre à cette question sans risquer d'abîmer l'original, le musée s'est lancé dans la réalisation de clones aux sons les plus fidèles possible. Dès 2001, le laboratoire de recherche et de restauration a fabriqué un facsimilé en bois avant de produire aujourd'hui par impression 3D, un exemplaire en résine époxy. Ce projet est mené par la chercheuse en musique baroque et flûtiste Mina Jang, à l'université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines.

CHARLES DHÉROUVILLE

**Le son du modèle en résine époxy,** ici joué par Mina Jang, chercheuse à l'université de Versailles-Saint-Quentin-en-Yvelines, a les mêmes qualités acoustiques que la copie en bois (à droite) d'une flûte traversière du XVIIIe siècle.

### L'instrument est sorti de la machine en 24 heures

Certes, bien des instruments ont d'ores et déjà été imprimés en 3D (guitares, violons, saxophones...) mais l'approche de la chercheuse est différente. Elle consiste à montrer qu'il est possible d'obtenir des instruments reproduisant fidèlement les qualités acoustiques d'instruments historiques, et ce de manière rapide et avec des matériaux synthétiques. Donc pour un coût moindre. Tout en préservant les originaux de toute manipulation susceptible de les dégrader.

La première étape du projet a été de soumettre la réplique en bois de 2001 à une analyse par tomographie par rayons X au Centre de recherche et de restauration des musées de France (C2RMF). L'opération a permis d'établir ses caractéristiques physiques : formes externes et internes, mesures, porosité du bois. Et donc d'analyser la circulation du son à travers le corps. À partir de ces données, les chercheurs ont fait un modèle 3D numérique de l'instrument sous forme de fichier informatique, qui a servi à l'impression proprement dite. Le nouvel instrument est sorti de la machine en vingt-quatre heures... contre plusieurs centaines pour une fabrication artisanale ! Mina Jang a joué des deux flûtes, la copie en bois de 2001 et sa réplique en époxy, devant un jury d'experts conviés à une audition à l'aveugle : ceux-ci ne sont pas parvenus à les distinguer.

Ce projet s'inscrit dans un champ de recherche plus large, impliquant également l'Institut de recherche et coordination acoustique/musique (Ircam), à Paris. L'analyse par rayons X et l'impression 3D peuvent, en effet, servir à reproduire les caractéristiques originelles (notamment la porosité du matériau) d'instruments antiques bien trop altérés pour être encore joués. Cela afin d'avoir une idée de leur sonorité. Dans une optique plus expérimentale, ces techniques peuvent permettre de créer des clones virtuels dont l'acoustique pourrait être modifiable en temps réel. ■

**Arnaud Devillard** @A_Devila

# Un pacemaker en plein cœur

Implanter un stimulateur directement à l'intérieur de l'organe est désormais possible. Faciles à mettre en place et limitant les complications, ces nouveaux dispositifs dits endocardiaques sont posés chez des milliers de patients dans le monde.

Destinés aux cœurs fatigués, les stimulateurs implantés ont déjà une longue histoire d'innovations, depuis leur mise au point en 1958. Non seulement ces dispositifs n'ont pas cessé de gagner en compacité et en longévité, notamment grâce aux progrès des batteries qui les alimentent, mais ils ont aussi bénéficié de manière spectaculaire des avancées de la microélectronique.

Les pacemakers modernes (destinés à la prise en charge de la bradycardie, c'est-à-dire le ralentissement du rythme cardiaque), comme leurs cousins les défibrillateurs (qui agissent également en cas d'emballement du rythme) intègrent ainsi des microprocesseurs qui leur permettent d'analyser finement les signaux transmis par les capteurs auxquels ils sont reliés, et de moduler la réponse en fonction des besoins du patient. Dotés d'une mémoire et de composants permettant d'émettre et de recevoir des ondes radiofréquence, ils peuvent en outre transmettre les informations qu'ils ont enregistrées à un praticien, et même recevoir, à distance et sans intervention chirurgicale, des informations destinées à leur reprogrammation.

### L'introduction se fait par la veine fémorale

Reste que leur boîtier, implanté sous la clavicule, n'est pas toujours bien toléré par les patients. Surtout, les sondes qui le relient au cœur par le système veineux sont fragiles et peuvent se rompre ou engendrer des complications circulatoires. D'où la toute dernière innovation en la matière : l'implantation à l'intérieur même de la paroi du cœur de capsules autonomes, dites endocardiaques, intégrant à la fois l'électronique de contrôle et l'électrode destinée à la stimulation cardiaque. Le pionnier du genre, le Micra de la société Medtronic, ne mesure que 25,9 millimètres et intègre une pile.

**25,9 mm**
la taille d'un dispositif Micra intégrant une pile.

**6300 €**
le montant remboursé par la Sécurité sociale pour l'implantation d'un dispositif Micra. Celui d'un pacemaker classique est de 3322 euros auquel se rajoute le prix de la sonde (471 euros).

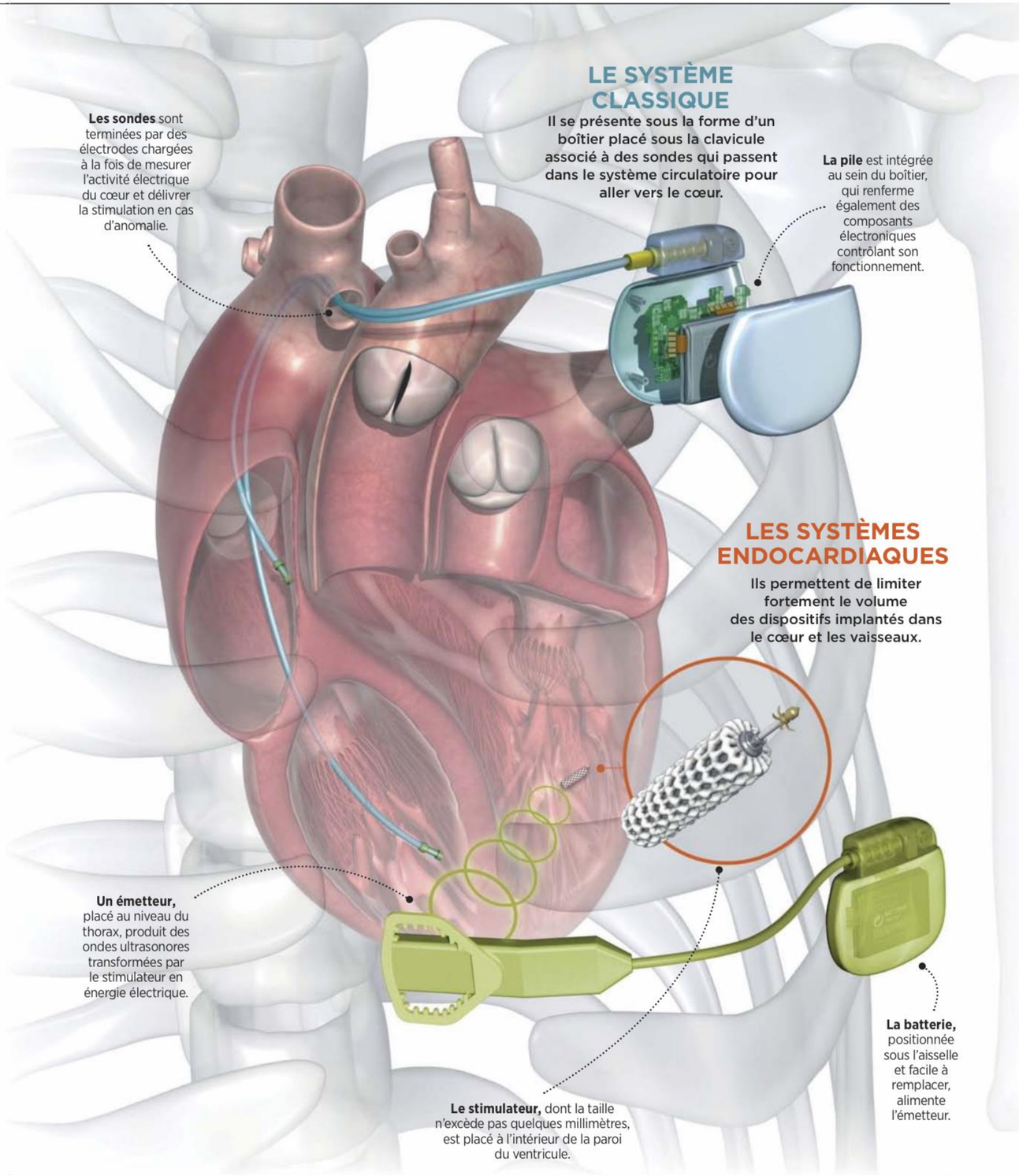
Il ne nécessite donc aucun équipement complémentaire. Depuis son approbation par les autorités sanitaires européennes et américaines (respectivement en 2015 et en 2016), il a été implanté chez plus de 75 000 patients dans le monde. Il est introduit par la veine fémorale, donc sans incision de la poitrine. Contrairement à un dispositif classique, dont les sondes peuvent être déployées à la fois dans la partie droite (reliée aux poumons) et dans la partie gauche (reliée à la circulation générale) du cœur, il est réservé aux patients qui n'ont besoin que d'une stimulation du seul ventricule droit, soit 15 à 20 % des cas.

La start-up américaine EBR System a depuis conçu le stimulateur endocardiaque Wise, réservé aux patients chez qui une intervention conjointe au sein du ventricule gauche est nécessaire pour resynchroniser l'activité du muscle cardiaque. Celui-ci a été implanté chez un peu plus de 300 patients dans le monde. Long de 9,1 millimètres à peine, il n'embarque pas de batterie : son énergie lui est délivrée à distance par des ondes ultrasonores depuis un émetteur relié à la batterie. Il fonctionne pour l'instant en lien avec un dispositif classique pour la stimulation de la partie droite du cœur. À terme, on pourrait toutefois imaginer de conjuguer des systèmes endocardiaques à droite et à gauche. ■ **Muriel de Véricourt**

ÉNERGIE

## La longévité des batteries, un enjeu majeur

Les pacemakers ne sont pas éternels. Comme les modèles classiques, le Micra affiche une durée de vie de l'ordre d'une dizaine d'années. Mais à la différence des boîtiers placés sous la clavicule, il n'est pas destiné à être remplacé, mais simplement désactivé et laissé en place aux côtés d'un nouveau dispositif identique. Les médecins estiment pouvoir en implanter jusqu'à trois, ce qui exclut les patients les plus jeunes de ce type d'intervention. La batterie du système Wise, quant à elle, doit être changée tous les quatre ou cinq ans. Quelle que soit la technologie utilisée, tous les fabricants travaillent donc sur la longévité des batteries et la réduction de la consommation. Un modèle sans pile, capable de transformer l'énergie mécanique des battements du cœur en énergie électrique, a été imaginé par une équipe chinoise et testé avec succès chez des porcs.




BRUNO BOURGEOIS POUR S. ET A.

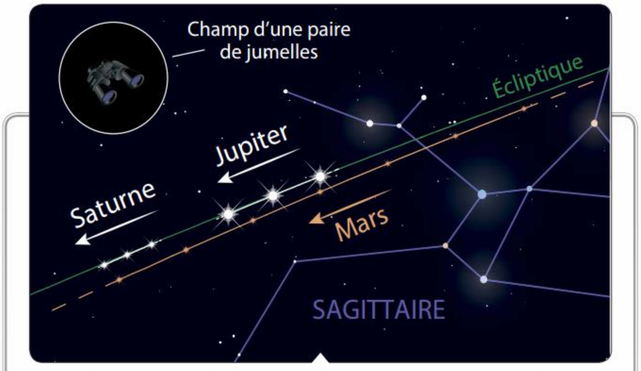
Par Johan Kieken

## Où sont les planètes ?

**MERCURE** La petite planète atteint sa plus grande distance angulaire (28°) à l'ouest du Soleil le 24. Malgré cette élongation intéressante, elle reste inobservable sous nos latitudes car noyée dans les lumières du levant. Les régions voisines du tropique du Capricorne bénéficieront, elles, de conditions d'observation optimales.

**VÉNUS** L'étoile du Berger atteint sa plus grande distance angulaire (46°) à l'est de l'astre du jour le 24 et se trouve, ce mois-ci, dans des conditions d'observation idéales. Très lumineuse, passant sous l'horizon plus de 4 heures après notre étoile, elle est immanquable en soirée à bonne hauteur vers le couchant.

**MARS** La planète Rouge est visible en fin de nuit, assez bas vers le sud-est. Croisant la route de l'éclatante Jupiter le 20 et celle de Saturne le 31, elle traverse le Sagittaire pour entrer dans le Capricorne le 30. Mars se lève entre 2h30 et 2h50 avant le Soleil durant tout le mois.




**Les positions de Jupiter et Saturne** sont présentées les 1er, 16 et 31 mars. Celles de Mars sont données tous les 5 jours, à partir du 1er. Le cercle en haut à gauche révèle le champ de jumelles.

# Mars fond sur Jupiter et Saturne

**À LA DIFFÉRENCE DES ÉTOILES,** fixes les unes par rapport aux autres à l'échelle d'une vie humaine, les planètes se déplacent à travers les constellations. Leurs rapprochements sont assez fréquents. Ce mois, Mars croisera ainsi la route de Jupiter et Saturne. Le 20, la planète Rouge passera à moins de 1° de Jupiter puis, le 31, à 1° de Saturne. Ces rapprochements entre planètes ne sont bien sûr qu'apparents, celles-ci se situant à des distances très différentes de la Terre.

**Notre conseil** Les deux rapprochements étant observables en fin de nuit, assez bas vers le levant, veillez à ce que votre horizon sud-est soit correctement dégagé.

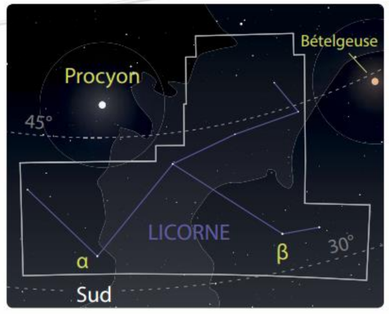
**JUPITER** La reine des planètes est observable en fin de nuit et au petit matin vers le sud-est, sous la forme d'un point très brillant. Par son éclat, elle domine nettement le ciel du crépuscule matinal.

**SATURNE** La planète aux anneaux n'est visible qu'en fin de nuit, bas vers le sud-est. La proximité de Jupiter — les deux planètes sont séparées de moins de 10° — aide à la repérer.

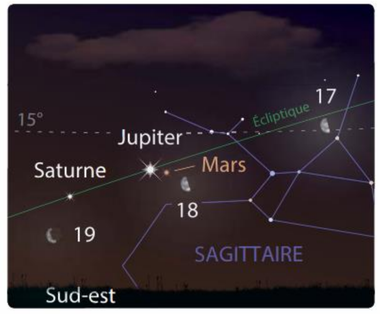
## L'appli du mois

**SPACEWEATHERLIVE**

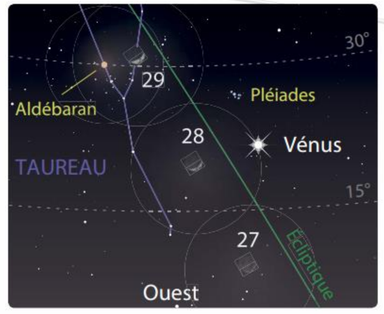
C'est une application gratuite en français pour les appareils sous Android et iOS, offre, sous forme numérique et graphique, de nombreuses informations sur les activités aurorale et solaire du moment et des jours à venir : éruptions solaires, trous coronaux orientés vers la Terre, tempêtes géomagnétiques, etc.



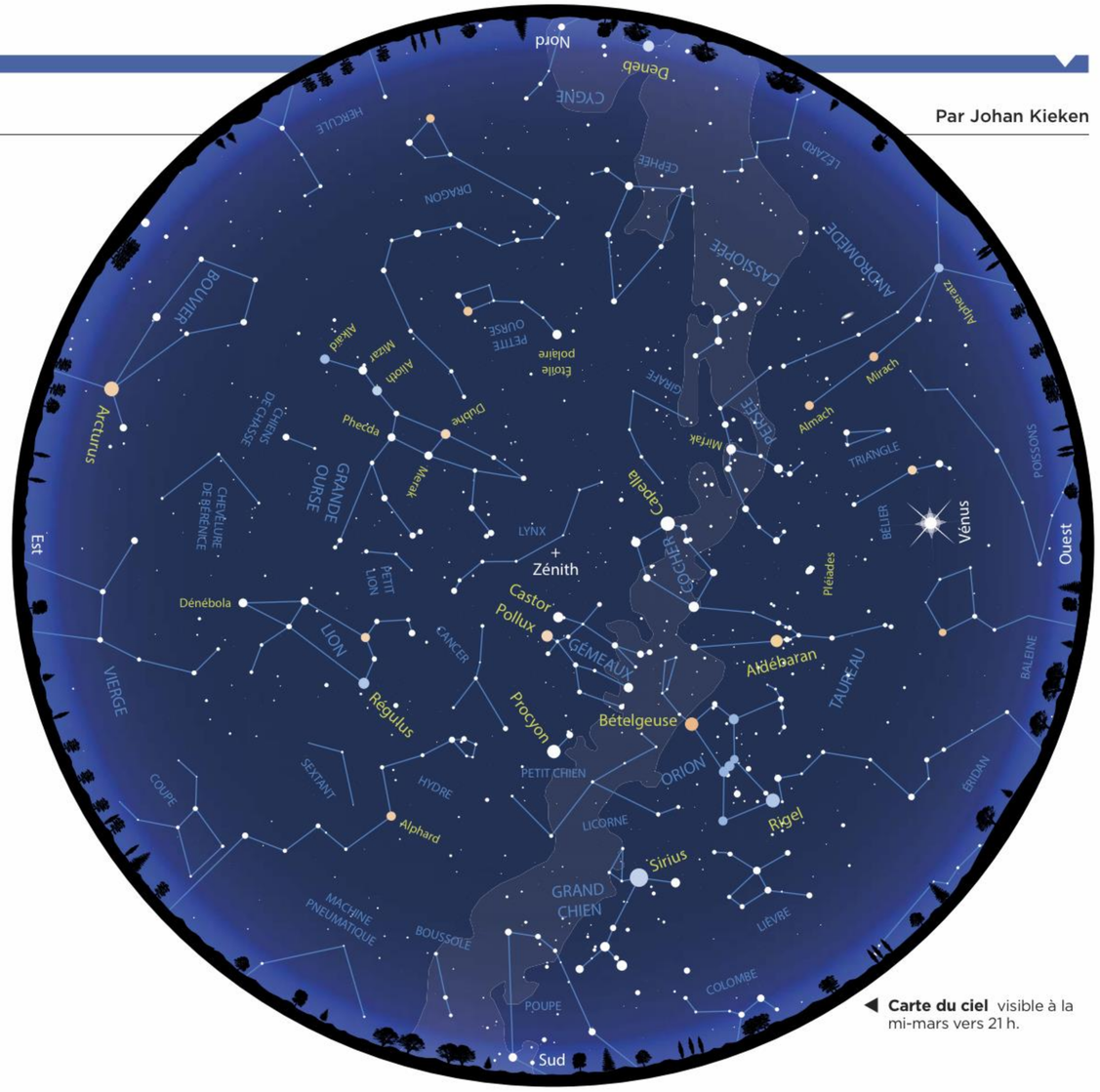

**LA LICORNE EST UNE CONSTELLATION** que l'on trouve dans la direction du sud vers 21 h en cette fin d'hiver. Sa pâleur contraste avec la splendeur des étoiles environnantes.




**LE 18, UNE HEURE AVANT LE LEVER DU SOLEIL,** une Lune ayant dépassé la phase de dernier quartier ne sera qu'à 2° de la planète Mars, elle-même à un peu plus de 1° de la planète Jupiter.




**LE 28, DEUX HEURES APRÈS LE COUCHER DU SOLEIL,** admirez le beau rapprochement entre le premier croissant de Lune, l'étincelante planète Vénus et le lointain amas d'étoiles des Pléiades.




◀ **Carte du ciel** visible à la mi-mars vers 21 h.

## La Lune

**Premier quartier :** lundi 2 à 21 h (La Lune se trouve alors dans le Taureau)

**Pleine Lune :** lundi 9 à 19 h (Lion)

**Dernier quartier :** lundi 16 à 11 h (Ophiucus)

**Nouvelle Lune :** mardi 24 à 10 h (Poissons)

## Le Soleil

| (à Paris) | Lever | Coucher |
|---|---|---|
| 1er mars | 7h32 | 18h35 |
| 31 mars | 7h30 | 20h21 |

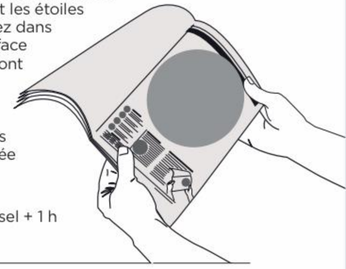
**Équinoxe le 20 à 4h50**

## D'où voir le ciel

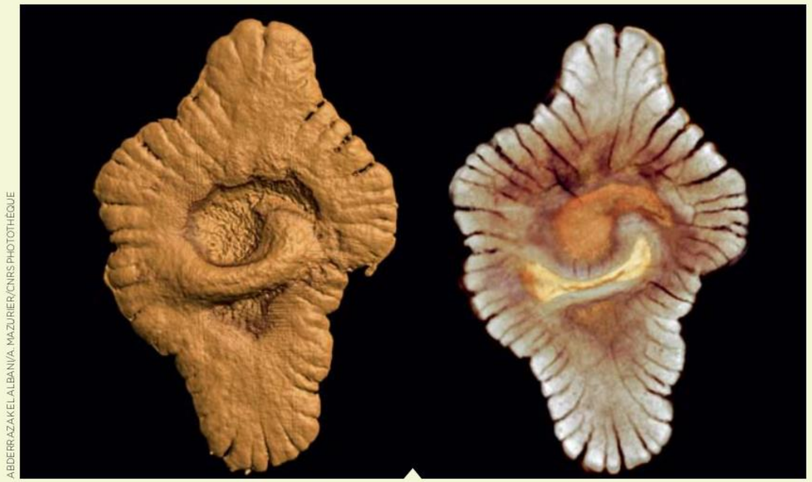
**Notre carte tracée pour une latitude de 47° nord** montre le ciel visible en France métropolitaine, et plus largement en Europe et dans le monde, à l'intérieur d'une bande s'étendant de 40 à 54° de latitude nord. Si vous êtes au nord du 47e parallèle, l'étoile Polaire sera plus haute dans votre ciel et plus basse dans le cas contraire.

## Comment utiliser cette carte

**Faites tourner votre magazine sur lui-même,** de façon à ce que le nom de la direction dans laquelle vous observez soit écrit à l'endroit. Les constellations et les étoiles que vous retrouverez dans le ciel qui vous fait face sont toutes celles dont le nom est lisible sans trop pencher la tête. La position des planètes visibles à l'œil nu est indiquée pour le 15 du mois.



Les heures sont données en heure légale française (temps universel + 1 h jusqu'au dimanche 29 à 2 h, + 2 h ensuite).



ABDERRAZAK EL ALBANI/A. MAZURIER/CNRS PHOTOTHÈQUE

**Fossile multicellulaire** mis au jour sur le site de Franceville (Gabon) dans des sédiments datés de -2,1 milliards d'années (reconstitution externe, à gauche, et interne, à droite, par microtomographie).

# La Terre à livre ouvert

Un récit graphique sur l'émergence de la vie mené avec beaucoup d'humour et d'enthousiasme par trois géologues passionnés et une illustratrice talentueuse.

**ÉVOLUTION** Oubliez les cours classiques de géologie et de chimie… et emparez-vous de ce livre qui raconte tout ce que l'on sait sur l'émergence de la vie sur Terre. L'originalité de l'ouvrage est dans sa présentation, car ce récit des origines est raconté avec beaucoup d'humour et d'enthousiasme, écrit entièrement à la main, entre BD et roman graphique.

L'aventure qu'il relate a commencé en 2008 lorsque le géologue Abderrazak El Albani, de l'université de Poitiers, se rend au Gabon, sur le site de Franceville, pour étudier le sous-sol riche en hydrocarbures. C'est par le plus grand des hasards qu'il tombe sur un fossile extraordinaire : il apporte la preuve que des organismes multicellulaires complexes existaient bel et bien il y a 2,1 milliards d'années… C'est une mini-révolution. Ces résultats sont critiqués puis réexaminés par de nombreuses équipes à travers le monde, qui finissent par les confirmer. L'article fait en 2010 la une de la revue *Nature*. Ainsi, la vie complexe dont la date d'apparition était jusque-là estimée à -550 millions d'années, a pris un sacré coup de vieux ! Son histoire est bien plus longue et cela suppose de reconsidérer aussi celle de la Terre, comme l'évolution chimique de l'atmosphère et l'apparition de l'oxygène. C'est donc le récit imbriqué des balbutiements de la vie et des transformations de la planète qui nous est conté, depuis la formation du globe, il y a 4,56 milliards d'années, et les premières traces de vie unicellulaire datant de -3,9 à -3,5 milliards d'années environ. Un sujet palpitant et actuel, toujours confronté à des questions ouvertes tant le nombre de fossiles très anciens est limité. Grâce à l'immense talent de l'illustratrice Adelinaa, qui use d'astuces graphiques pour expliquer des concepts scientifiques, on embarque dans l'aventure avec beaucoup de plaisir. Un livre réjouissant qui devrait susciter des vocations. ■ **Azar Khalatbari**

**Comment tout a commencé sur la Terre,** Abderrazak El Albani, Roberto Macchiarelli, Alain Meunier, Illustrations : Adelinaa, Humensciences, 192 p., 26 €

## Déjouer les pièges de la Toile

**POLICE 2.0** Entre polar et documentaire, *Cyber Crimes*, raconte le quotidien du commandant Pierre Penalba à la tête du premier groupe de lutte contre la cybercriminalité de la police nationale. Les affaires — authentiques — de harcèlement, d'attaques de sites, de vols de données, de chantage aux photos intimes se succèdent comme autant d'exemples des vulnérabilités de notre activité sur le Net. Ici, un couple amateur de rencontres coquines se retrouve piégé par un maître chanteur. Là, l'histoire d'un pirate localisé en Iran qui grâce à ses exploits, sera recruté par les services de son pays. Ces récits sont accompagnés de conseils élémentaires dispensés par ce policier expert en informatique. ■ **O. H.**

**Cyber Crimes,** Pierre Penalba, Albin Michel. 288 p., 19,90 €

## John Muir, un héros américain

**BIOGRAPHIE** John Muir, inlassable arpenteur et défenseur de la vallée de Yosemite, en Californie, adorait les séquoias, les chutes d'eau vrombissantes, les blizzards et les glaciers, la marche solitaire… Et par-dessus tout, les nuits à la belle étoile à l'écoute du son des arbres, sans cesse émerveillé et exalté par la « sauvagerie ». Dans l'esprit de celui qui fut tour à tour ouvrier agricole, inventeur, botaniste, écrivain et pionnier américain de l'écologie, Alexis Jenni retrouve ses propres aspirations d'enfance. L'auteur de cette biographie du vagabond à l'âme gentille et au regard bleu vif en restitue le chemin avec la puissance évocatrice que seuls des rêves partagés consentent. ■ **A. De B.**

**J'aurais pu devenir millionnaire, j'ai choisi d'être vagabond,** Alexis Jenni, Paulsen, 221 p., 21 €

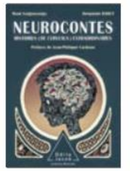
## Infirmier aux petits soins

**BD** Lorsqu'un infirmier d'un service de soins palliatifs, silhouette de rugbyman, tatoué et fan de rock, prend le crayon pour raconter son quotidien au chevet des patients, cela donne ce roman graphique sensible, drôle, parfois bouleversant, qui ne peut laisser indifférent. Avant *« le grand départ »*, l'auteur entonne Bohemian Rapsody à tue-tête avec Roger, engloutit des glaces à la vodka avec Edmond, apprend le suédois avec Mathilde, essaie de comprendre Marie, avec qui il ne s'entend pas. Un trait tendre, en noir et blanc (et bleu !) pour une douce mise en lumière de ces soignants nécessaires, qui ajoutent de la vie aux jours, lorsque les heures sont comptées. ■ **E. S.**

**À la vie !** L'Homme étoilé, Calmann-Lévy, 189 p., 16,50 €

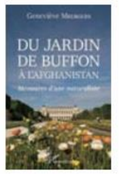
## Incroyables cerveaux

**SYNAPSES** Araignées, films d'horreur, maison hantée, Suzanne n'a vraiment peur de rien. Souffrant d'une maladie génétique rare qui inactive ses amygdales, elle est un cas d'école en neurosciences. Tout comme HM qui a la mémoire d'un poisson rouge, Phineas devenu asocial après que son crâne a été transpercé par une barre à mines ou encore Monsieur Tan qui ne prononçait qu'une syllabe (« tan »). Ces « neurocontes » illustrés avec beaucoup d'humour, explorent en détail les cas exceptionnels qui ont fait l'histoire de la recherche sur le cerveau. Drôle et instructif. ■ **E. S.**




**Neurocontes, Histoires (de cerveaux) extraordinaires** Mani Saignavongs, Benjamin Baret, Actes Sud, 168 p., 17,90 €

## Mémoires d'une naturaliste




**INSTITUTION** À la fin des années 1940, le Muséum national d'histoire naturelle, à Paris, se dote d'un service de muséologie pour mettre au point des procédés de conservation de spécimens et préparer des expositions temporaires. C'est là qu'a œuvré Geneviève Meurgues, pendant un demi-siècle entre voyages en Afghanistan, en Iran ou en Inde à la recherche de rares coléoptères. Ses mémoires révèlent les coulisses de l'organisation des grands événements au muséum comme des combats politiques qui furent nécessaires pour la survie de l'institution. ■ **M. N.**

**Du jardin de Buffon à l'Afghanistan,** Geneviève Meurgues, L'Harmattan, 330 p., 29 €

## Homo politicus

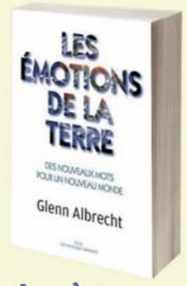
**PORTRAITS** Si le paléontologue a les yeux braqués sur son terrain et les millions d'années avant notre présent, l'académicien et professeur émérite au Collège de France a aussi beaucoup fréquenté les singuliers spécimens d'*Homo sapiens* que sont les présidents, les rois et les reines d'aujourd'hui. Yves Coppens en portraiture ici ne cinquantaine, sans *« message politique »* mais avec sérieux et… moult clins d'œil. Il sait que ses *« portraits ne sont certes pas ceux de La Bruyère »* mais note que sa *« longue série de petites images finit par restituer une tranche d'histoire »*. Histoire dont il aime à faire partie. À preuve, ce rappel du jour où Nicolas Sarkozy l'a comparé à Cro-Magnon. La gloire ! ■ **D. J. L.**

**Le Savant, le fossile et le prince,** Yves Coppens, Odile Jacob, 24,90 €

## L'histoire centenaire de la pandémie de sida

**ENQUÊTE** Identifié en 1981, le virus de l'immunodéficience humaine (VIH) circule en réalité depuis près d'un siècle. 40 millions de morts plus tard, *Aux Origines du sida* raconte l'histoire hors normes de l'une des pires pandémies de l'humanité. Une enquête fouillée, très documentée, qui remonte au tournant des années 1920, lorsqu'un chimpanzé infecté rencontre un chasseur maladroit entre le Cameroun et les bords du fleuve Congo. Durant des décennies, le virus circule dans ces territoires contrôlés d'une main de fer par la France et la Belgique. À la croisée des chemins de l'infectiologue, de l'épidémiologiste et de l'historien, Jacques Pépin livre un travail passionnant, qui dévoile aussi les racines coloniales de la pandémie : main-d'œuvre masculine surexploitée, prostitution des femmes, regroupement des populations dans des villes nouvelles aux conditions sanitaires déplorables… Une histoire glaçante, racontée jusqu'aux débuts de la mondialisation qui donnera à cette crise sanitaire silencieuse l'ampleur de la pandémie mondiale qu'on connaît aujourd'hui. Indispensable. ■ **Hugo Jalinière**

**Aux origines du sida,** Jacques Pépin, Seuil, 496 p., 24,90 €




## Après l'anthropocène, voici le symbiocène

**EMPREINTE** Changer de mots pour changer le monde. Analyser nos émotions face à la crise climatique et les renommer afin de bâtir un schéma conceptuel et une ligne de conduite capables de nous guider vers l'ère du symbiocène. Celle d'une communauté spirituelle entre tous les êtres vivants, où notre empreinte sur la planète serait réduite au minimum, et qui succéderait à un anthropocène destructeur des équilibres écologiques. C'est le propos visionnaire du philosophe australien Glenn Albrecht, connu pour son concept de « solastalgie », ce sentiment de *« désolation causé par la dévastation de son habitat et de son territoire »*. De l'« eutierrie » (sentiment réconfortant d'unité avec la Terre) à la « terrafurie » (colère extrême provoquée par les tendances autodestructrices de la société industrielle), en passant par la « soliphilie » (amour du lieu se traduisant par l'engagement politique pour la protection des habitats), ce penseur habité par des émotions positives incite à contrer l'écoparalysie qui risque de nous perdre. ■ **Andreina De Bei**

**Les Émotions de la Terre. Des nouveaux mots pour un nouveau monde,** Glenn Albrecht, Les Liens qui libèrent, 368 p., 23 €

## EXPOSITIONS

### Bordeaux (33)

**Ombres et lumière**
Pourquoi une ombre est-elle petite ou grande, nette ou floue ? Un parcours entre art, sciences et poésie…
**Cap sciences, hangar 20, jusqu'au 13 septembre. Rens. : 05.56.01.07.07.**

### Châteaudun (28)

**Bestiaire antique**
En Asie, depuis la Turquie jusqu'à l'Indonésie, les représentations artistiques d'un même animal diffèrent d'une culture à l'autre, et la symbolique du bestiaire

est parfois très différente de celle des Européens.
**Musée des Beaux-Arts et d'Histoire naturelle, 3, rue Toufaire, jusqu'au 20 septembre. Rens. : 02.37.45.55.36.**

### Enghien-les-Bains (95)

**Les artisans du rêve**
En collaboration avec l'école ArtFX, cette exposition plonge le spectateur au cœur des effets spéciaux dans le cinéma en présentant maquettes et dessins préparatoires, costumes et éléments de décors.
**Centre des arts, 12-16, rue de la Libération, jusqu'au 11 avril. Rens. : 01.30.10.85.59.**

### Lewarde (59)

**1720, le charbon au cœur des révolutions**
À l'occasion du tricentenaire de la découverte de charbon dans le nord de la France, une présentation du contexte de cet événement qui a donné naissance au bassin minier du Nord-Pas-de-Calais.
**Centre historique minier, fosse Delloye, rue d'Erchin, jusqu'au 20 septembre. Rens. : 03.27.95.82.82.**

### Montmaurin (31)

**Sites et musée archéologiques de Montmaurin**
Ouverture d'un nouveau musée et d'un nouveau parcours de visite sur le site archéologique des deux villas gallo-romaines de Lassalles et de la Hillère.
**Site archéologique. Rens. : 05.61.88.74.73.**

### Mulhouse (68)

**La Mécanique des plantes**
Une exposition accessible dès 8 ans pour découvrir la diversité et le fonctionnement du monde végétal.
**La Nef des sciences, 2 bis, rue des Frères-Lumière, jusqu'au 29 mai. Rens. : 03.89.33.62.20.**

### Nantes (44)

**Le pouvoir en Afrique, de la tradition à nos jours**
Comment s'organisaient socialement et politiquement les sociétés traditionnelles lors d'événements majeurs…
**Espace international Cosmopolis, passage Graslin, Nantes, du 24 février au 21 mars. Rens : 06.03.81.35.97.**

### Toulouse (31)

**Code alimentation**
Cette « expo-game » qui se parcourt dans la peau d'un agent secret invite à un rendez-vous dans une ville imaginaire pour explorer l'alimentation du futur.
**Quai des savoirs, allée Matilda, jusqu'au 6 septembre. Rens. : 05.67.73.84.84.**

### Toulouse

**Wisigoths. Rois de Toulouse**
À l'occasion du 1600e anniversaire de l'installation des Wisigoths à Toulouse, une exposition sur l'histoire de ce peuple germanique centrée sur la capitale de son royaume, Tolosa, et sur son territoire au ve siècle.
**Musée Saint-Raymond, 1 ter, place Saint-Sernin, du 27 février au 27 septembre 2020. Rens : 05.61.22.31.44.**

## PARTENARIATS SCIENCES AVENIR

### Paris (75)

**Le Goût des sciences**
Remise de ce prix littéraire scientifique, créé par le ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche en présence du jury (journalistes, illustrateurs, chercheurs) et séance de dédicace avec les auteurs récompensés.
**Salon du livre de Paris, Porte de Versailles, le 20 mars. Rens. : sciav.fr/877goutdessciences**

**Big Data Paris 2020**
9e édition de ce « rendez-vous pour tous ceux qui souhaitent faire de leurs données un véritable levier de croissance pour leur entreprise ».
**Palais des Congrès, porte Maillot, les 9 et 10 mars. Rens. : www.bigdataparis.com/2020**

FREDERIC DEVAL

**L'exposition** met en scène de nombreux animaux naturalisés.

Bordeaux (33)/Exposition

# Naturalia Africa

Près d'un an après sa réouverture *(lire* S. et A. *n° 867)*, le muséum de Bordeaux accueille son premier événement temporaire. Organisé dans le cadre de la saison Africa 2020, Naturalia Africa se compose d'une remarquable exposition naturaliste accompagnée d'accrochages d'œuvres d'artistes africains. L'objectif pédagogique est d'expliquer les dynamiques écologiques qui régissent la savane au travers de ses plus célèbres animaux — lions, rhinocéros, girafe, zèbre… Le parcours présente divers éclairages sous forme de diagrammes illustrant la chaîne alimentaire, de schémas des migrations saisonnières, des stratégies de survie individuelles et des fiches descriptives de tous les spécimens exposés. Le visiteur explore ainsi à son rythme les différents écosystèmes reconstitués grâce aux contributions de naturalistes et aux prêts des muséums de Nancy et de Montauban. Un parcours immersif qui suscite aussi une réflexion sur l'impact des activités humaines sur l'équilibre de la nature africaine. ■ **Héloïse Chapuis**
**Muséum, 5, place Bardineau, jusqu'au 31 décembre. Rens. : 05.24.57.65.30.**

Retrouvez toutes les expositions dans notre guide Internet : sciav.fr/guideexpos





Sur notre site sciencesetavenir.fr, la rédaction répond à des questions scientifiques posées par nos lecteurs sur notre page Facebook. En voici une sélection.

HYGIÈNE

## La règle des « 5 secondes » est-elle valable ?

**Olivier E.**

Selon la croyance populaire, un aliment tombé par terre ne peut pas être contaminé par des bactéries — et peut donc être consommé — s'il est ramassé en moins de cinq secondes. C'est faux, a démontré une équipe de l'université Rutgers aux États-Unis en 2016 en faisant tomber quatre aliments (pastèque, pain, pain beurré, bonbons gélatineux) sur quatre surfaces différentes (bois, tapis, acier inoxydable et céramique) où avaient été déposées des bactéries *Enterobacter aerogenes*. Leur conclusion : l'aliment est contaminé quelle que soit la durée passée au sol. Toutefois plus la nourriture reste longtemps par terre, plus le nombre de bactéries transférées est important. En outre, ce transfert est facilité si l'aliment a un taux élevé d'humidité. ■ **Lise Loumé** @LysLoume

PALÉOANTHROPOLOGIE

## Pourquoi cuisons-nous nos aliments ?

**Nordine K.**

L'utilisation du feu par *Homo erectus*, ou un autre hominidé, pour cuire ses aliments remonterait à un million d'années, d'après des analyses menées dans la grotte de Wonderwerk en Afrique du Sud en 2012. Les scientifiques s'accordent à dire que l'utilisation du feu est un tournant dans l'histoire de l'évolution humaine. Tout d'abord, il permet de cuire la viande. Or celle-ci, une fois cuite, fournit plus d'énergie. Ensuite, selon l'anthropologue britannique Richard Wrangham, les changements morphologiques des *Homo* observés à partir d'*H. erectus* sont liés à la consommation d'aliments cuits : la mastication de ceux-ci est plus facile, ce qui a entraîné une régression de la taille de la mâchoire au profit de la boîte crânienne. ■ **L. L.**

CHRISTOPHE LEHENAFF/PHOTONONSTOP

**À nos yeux,** les astres, reliés, forment une figure nommée constellation.

ASTRONOMIE

## Comment a-t-on déterminé les constellations ?

**Savannah G.**

Contrairement aux comètes, planètes, étoiles ou galaxies, les constellations sont de purs produits de notre imagination. Les astres sont à nos yeux très proches les uns des autres (alors que ce n'est pas forcément le cas) au point que l'on peut les relier par des lignes fictives et dessiner ainsi des structures géométriques simples. La plupart des civilisations ont été fascinées par ces motifs. En les investissant d'une signification particulière, elles en ont fait ce qu'on appelle des constellations. Celles-ci se réfèrent souvent à des animaux (l'aigle, la baleine, le scorpion…), mais aussi à des objets (la lyre, le sextant…) ou à des personnages (Persée, Andromède…) et créatures légendaires (Pégase, licorne, sagittaire, etc.).
Selon leur culture, les peuples n'ont pas vu les mêmes figures. Le « W » que nous appelons Cassiopée, du nom d'une reine de la mythologie grecque, est perçu comme un chameau en Arabie, un attelage de cinq rennes en Scandinavie, la queue d'un dauphin aux îles Marshall… ou l'archétype féminin chez les Indiens Navajos ! Le nom des constellations peut aussi refléter les mentalités d'une époque. Au XVIe siècle, quand les Européens ont commencé à explorer l'hémisphère Sud et observé des étoiles inconnues, ils ont inventé de nouvelles constellations et les ont nommées en puisant dans le vocabulaire exotique, d'où le Caméléon ou l'Oiseau de paradis. Ce n'est que dans les années 1920 que l'Union astronomique internationale a décidé de fixer une fois pour toutes le nombre, les appellations et les tracés des constellations (plus de la moitié provenant de la compilation du grec Ptolémée). L'atlas officiel organise le ciel en 88 territoires, qui reprennent le nom des figures traditionnelles. ■ **Franck Daninos** @fdaninos

**Air France s'est engagée** à compenser les émissions de $CO_2$ de ses vols intérieurs, soit 20 % de l'ensemble du trafic de la compagnie. Ce qui devrait représenter plusieurs millions d'euros par an investis dans des projets d'ONG.

# En quoi consiste la compensation carbone des compagnies aériennes ?

**CONTEXTE. Depuis le 1er janvier, Air France a annoncé compenser systématiquement les émissions de gaz à effet de serre de ses lignes intérieures.**

LA DÉMARCHE consiste à financer le développement d'énergies renouvelables ou à favoriser la plantation d'arbres pour compenser les quantités de carbone émises par le déplacement en avion. *« C'est une histoire ancienne puisque le principe figurait déjà dans le protocole de Kyoto de 1997*, rappelle Gérald Maradan, directeur général d'EcoAct, entreprise spécialisée dans la compensation carbone. *L'ONU a alors créé un registre où étaient compilés tous les financements provenant des entreprises dans des projets réduisant effectivement les émissions de gaz à effet de serre.* » Mais ces « mécanismes de développement propre » sont aujourd'hui en suspens, dans l'attente des résultats des négociations sur l'accord de Paris. En cause : l'article 6, qui vise à organiser un marché mondial du carbone réunissant, sous l'égide de l'ONU, les émetteurs de $CO_2$ et les projets de réduction. Celui-ci devrait être adopté lors de la COP26 qui se tiendra à Glasgow (Écosse) en novembre.

Il existe un autre marché, qui repose, lui, uniquement sur le volontariat. Une centaine d'entreprises y choisissent et gèrent des investissements. EcoAct, mandatée par Air France, pousse huit actions portant notamment sur un programme de protection de la forêt à l'embouchure du fleuve Amazone au Brésil, la distribution de panneaux photovoltaïques au Sénégal pour électrifier des zones rurales ou encore un projet de production de biogaz au Viêt Nam pour fournir de l'énergie à partir de déchets agricoles. Une action de boisement se déroulera également en France à Lerm-et-Musset, en Gironde. Comme elles le faisaient avec les « mécanismes de développement propre », les entreprises font valider ces actions par des organismes certificateurs, tel le « Gold standard » du WWF (Fonds mondial pour la nature). Elles doivent en effet prouver l'efficacité climatique de leur programme et assurer que le projet ne pourrait se réaliser sans l'apport de la compensation.

LYDIE LE CARPENTER/REA

### Les projets peinent à répondre à la demande

L'exemple d'Air France n'est pas unique : depuis 2019, la plupart des compagnies aériennes amorcent cette démarche. Ainsi Ryanair l'applique pour tous ses vols internationaux. Un mouvement tel que les projets peinent à répondre à la demande ! C'est qu'au total, les compensations réclamées par les compagnies dépassent les 4 millions de tonnes de $CO_2$ par mois. *« Jusqu'ici, les projets menés par les ONG recherchaient des crédits de compensation pour financer leurs programmes. Désormais, c'est l'inverse. Ceux qui veulent compenser cherchent des projets* », témoigne Gérald Maradan, directeur général d'EcoAct.

À noter que la compensation carbone ne peut être mise en œuvre qu'après que les entreprises ont entamé des politiques de réduction de l'utilisation des énergies fossiles. *« Air France-KLM s'engage à réduire les émissions de $CO_2$ de 50 % par passager et par kilomètre d'ici à 2030* », assure Nathalie Simmenauer, directrice environnement et développement durable de la compagnie. Une solution : des avions plus légers et donc moins gourmands. Autre piste : le carburant. À partir de juin, les vols Air France partant de San Francisco seront alimentés par des biocarburants issus de graisses alimentaires. Mais il reste de très nombreux obstacles pour parvenir à ces résultats ! ■

**Loïc Chauveau**
@Loïc_Chauveau

**LE SIGLE DU MOIS**

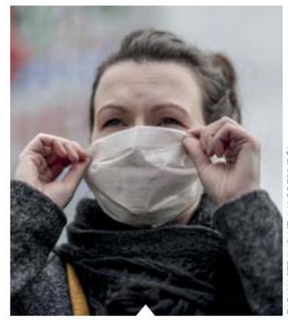
## ToBRFV

**Le « Tomato brown rugose fruit virus » ou « virus du fruit rugueux brun de la tomate » est un pathogène émergent qui touche principalement la tomate, les piments ou les poivrons. Observé pour la première fois en 2014 en Israël, il a été détecté le 17 février en France, dans le Finistère, sur des plants de tomates cultivés sous serre. Quelques jours plus tôt, le 3 février, l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail) alertait : il existe *« un risque élevé d'introduction et de dissémination du virus en France »*. Le virus est déjà présent en Europe (Italie, Grèce, Pays-Bas, Royaume-Uni et Espagne). Il pénètre le fruit à la faveur de microlésions et conduit à des décolorations et des déformations. Le virus ne se transmet ni aux humains ni aux animaux mais rend les fruits impropres à la vente. Il n'existe ni espèce résistante ni traitement. Aussi l'Anses invite-t-elle à contacter les services régionaux du ministère de l'Agriculture en cas de suspicion pour mettre en œuvre des mesures d'éradication, comme cela a été fait avec succès en Allemagne en 2018.■**

**Mathieu Nowak**
@Mathieu_Nowak

# Les masques médicaux protègent-ils du coronavirus ?

**CONTEXTE. La peur d'une pandémie de coronarivus a conduit fin janvier à des ruptures de stock de masques médicaux dans la plupart des pharmacies d'Île-de-France.**



FABIAN STRAUCH/ZUMA PRESS/REA

**Antiprojections ou protection respiratoire** : les masques n'ont pas tous le même usage.

LES MASQUES antiprojections, de type chirurgical, ont été conçus pour être portés par les personnes malades. Ils sont destinés, selon le ministère français de la Santé, à *« éviter lors de l'expiration de celui qui le porte, la projection de sécrétions des voies aériennes supérieures ou de salive pouvant contenir des agents infectieux transmissibles : par voie de gouttelettes (transmission par des gouttelettes de salive ou de sécrétions des voies aériennes supérieures), ou par voie aérienne (transmission aéroportée par de fines particules de moins de 5 micromètres)* ». Ils doivent être portés dès les premiers symptômes et ne sont efficaces que durant quelques heures.

Pour se protéger, il faut se tourner vers des masques de protection respiratoire. Ceux-ci se divisent en trois types : FFP1, FFP2 et FFP3. Le premier est surtout utilisé dans les travaux de bricolage comme masque antipoussière. Il est reconnaissable à ses élastiques jaunes. Le masque FFP2 est, lui, *« destiné à protéger le porteur contre les risques d'inhalation d'agents infectieux transmissibles par voie aérienne. Il le protège* a fortiori *aussi contre le risque de transmission par gouttelettes* », selon le ministère de la Santé. Il se compose d'une pièce faciale (demi-masque ou masque complet) et d'un dispositif de filtration. Sa durée de protection varie entre trois et huit heures. *« Le port de masques de type FFP2 est préconisé pour les personnels de soins lors des phases de transmission interhumaine et pandémique et pour les personnes à risque majeur d'exposition (proximité de moins d'un mètre d'une personne malade), tels que les professionnels de santé au contact des malades.* » Les fabricants lui ont attribué des élastiques de couleur bleue ou blanche. Enfin, les masques FFP3 sont les plus filtrants : ils sont destinés à stopper des particules très fines telles que l'amiante. Ils sont reconnaissables à leurs élastiques rouges. Mais même en portant un masque FFP2, il est recommandé de rester à plus d'un mètre des autres personnes pour éviter une contamination. Et il ne faut pas oublier qu'il perd son efficacité si on le manipule avec des mains sales ou si on le réutilise ! *(Lire aussi p. 12.)* ■

**Coralie Lemke** @CoralieLemke

TECHNO

## Un fab lab dans une école primaire

Charles Desthieux, rédacteur
@ChDesthieux cdesthieux@sciencesetavenir.fr

CHARLES DESTHIEUX

Faire manipuler des imprimantes 3D et des découpeuses laser à des enfants de 5 ans, c'est le pari — réussi ! — que s'est lancé Stéphane Lebrati, directeur du Cours du Rocher, une école maternelle et primaire bilingue à Paris. Reportage. sciav.fr/FabLab877

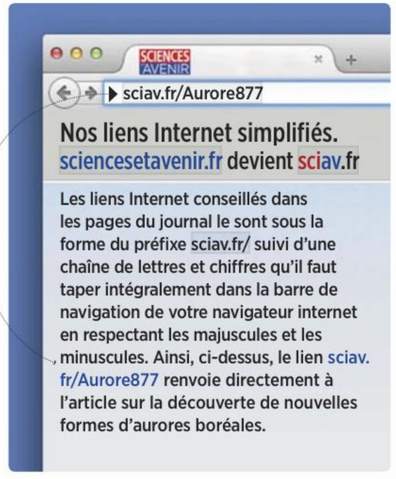
ESPACE

## Une nouvelle forme d'aurore boréale

Joël Ignasse, rédacteur spécialisé
@IgnasseJ jignasse@sciencesetavenir.fr

KARISAARI

Des amateurs d'aurores boréales ont observé des dunes aurorales, sublime phénomène dû à une hausse de la densité des atomes d'oxygène dans une zone particulière du ciel. sciav.fr/Aurore877



CHINE NOUVELLE/SIPA

REPORTAGE

## La plus grande tour d'énergie solaire

Nicolas Gutierrez C., journaliste
@n6g6c

Au milieu du paysage lunaire d'Ouarzazate, dans le sud du Maroc, la tour Noor III domine de ses 243 m les 7400 miroirs qui l'entourent. En fonctionnement depuis 2018, cette tour à énergie solaire concentrée est actuellement la plus puissante au monde, avec 150 mégawatts — cela correspond à la consommation énergétique d'environ 65 000 foyers français. Grâce à un système de stockage de chaleur, la tour peut produire de l'électricité la nuit. À 1200 m d'altitude, grâce à un ensoleillement permanent, ce site génère chaque année 2400 kilowattheures par mètre carré. sciav.fr/Tour877

POUR TOUT SAVOIR DE LA SCIENCE

## SI VOUS AVEZ...

### 2 minutes

**Animaux « *Clap* » de supériorité chez les phoques**

GEORGES KARBUS/CULTURA RF/AFP

Le phoque gris de l'Atlantique Nord « *applaudit* » en tapant ses nageoires antérieures l'une contre l'autre pour produire un son, et ce afin de montrer sa supériorité physique. sciav.fr/Phoque877

### 10 minutes

**High-tech Le robot qui a tout d'un oiseau**

LENTINK/STANFORT UNIVERSITY

C'est une première : des chercheurs ont créé un robot capable de reproduire le mouvement d'ailes du pigeon. Il est aussi pourvu de plumes. sciav.fr/Robot877

### 15 minutes

**Rencontre Le climat de l'après-2050**

LUDOVIC MARIN/AFP

Le climatologue français Jean Jouzel était l'invité du festival Crézanswing 2020 à Crézancy-en-Sancerre (Cher) où *Sciences et Avenir* l'a rencontré. sciav.fr/Jouzel877

Vous êtes déjà 2 millions à nous suivre sur Facebook




# L'Expert de votre Santé

*Depuis 1992, nous vous offrons le meilleur des plantes, vitamines et minéraux, pour une santé chaque jour renforcée !*

OFFRE DÉCOUVERTE dès 5€

LABORATOIRES ILAPHARM
www.ilapharm.com

*Offre valable 1 mois, 1 seule fois, réservée aux nouveaux clients. Non cumulable avec d'autres offres promotionnelles en cours.

**Jambes légères** — VIGNE ROUGE BIO
Active votre circulation sanguine pour des **jambes légères et confortables.**
5€ 45 gélules ~~10,10€~~

**Mobilité articulaire** — HARPAGOPHYTUM BIO
Conservez des **articulations souples, mobiles** et en bonne santé. *(3).*
5€ 45 gélules ~~10,30€~~

**Brûle-graisse** — GUARANA BIO
Boostez **l'élimination des graisses et la perte de poids.** *(1), (2), (5).*
6€ 45 gélules ~~11,00€~~

**Libido** — MACA BIO
Source d'énergie et aphrodisiaque, elle **stimule le désir sexuel.**
6€ 45 comprimés ~~10,20€~~

**Os et articulations** — SILICIUM ORGANIQUE et Vitamine C
**Vitamine C** (formation du collagène) et **Silicium** (constituant naturel) pour vos os et cartilages.
7€ 45 gélules ~~14,20€~~

**Sommeil** — PASSIFLORE BIO
Calmante et apaisante, elle procure **un sommeil de qualité.** Ni accoutumance, ni somnolence.
6€ 45 gélules ~~10,70€~~

**Prostate** — HUILE DE COURGE BIO
Aide au bon fonctionnement de la **prostate** et de la **vessie.** Pour un **bon confort urinaire.**
5€ 45 capsules ~~9,90€~~

**Fatigue nerveuse** — MAGNÉSIUM MARIN ET B6
Il contribue au bon fonctionnement de votre **système nerveux.**
*(7). Allergène : **poisson.***
6€ 60 gélules ~~10,30€~~

**Minceur** — NOPAL BIO
Absorbe une partie des **graisses** et des **sucres ingérés,** limitant ainsi l'apport calorique.
7€ 45 gélules ~~11,30€~~

**Vigueur sexuelle** — SAFRAN BIO
Le Safran Bio aide à **améliorer l'érection** et **stimule le désir sexuel.**
*(2), (4).*
7€ 30 gélules ~~15,10€~~

**Vitalité - Immunité** — GINSENG SIBÉRIEN BIO
**Stimulant** et **énergisant,** il aide au bon fonctionnement du **système immunitaire.**
6€ 45 gélules ~~11,30€~~

**Foie - Draineur** — ARTICHAUT - RADIS NOIR BIO
L'artichaut favorise le **fonctionnement du foie et détoxifie.** *(1)*
6€ 10 ampoules ~~13,10€~~

**Capacité sexuelle** — TRIBULUS
Elle favorise le **désir,** la **capacité** et les **performances sexuelles** et participe à la bonne santé des organes reproducteurs.
7€ 45 gélules ~~15,10€~~

**Un esprit vif** — GINKGO BILOBA BIO
Arbre de jouvence, il favorise votre circulation cérébrale pour **un esprit vif et alerte.**
*(2), (8).*
6€ 45 gélules ~~10,60€~~

**Articulations** — FRÊNE BIO
Pour le bon fonctionnement des articulations.
**Gardez le plaisir de bouger !**
5€ 45 gélules ~~10,20€~~

**Bonne vision** — SPIRULINE BIO
Préservez votre vision grâce à la **Vitamine A** issue du **Bêta-carotène** de la Spiruline.
*(1), (6).*
6€ 45 comprimés ~~10,50€~~

*(1) Déconseillé aux enfants de moins de 12 ans. (2) Déconseillé aux femmes enceintes ou allaitantes. (3) Déconseillé en cas d'ulcère gastrique ou duodénal et de calculs biliaires. (4) Ne pas associer avec des anti-dépresseurs. (5) Contient de la caféine (45 mg par jour). (6) Déconseillé en cas de troubles de la thyroïde. (7) Déconseillé aux insuffisants rénaux. (8) Ne pas associer avec des anti-coagulants. Les éventuelles traces d'allergènes sont indiquées sur l'étiquetage des produits.*

**Vos 3 Cadeaux**

LES 2 COUTEAUX CÉRAMIQUE 100% céramique OFFERTS
*Dimensions des 2 couteaux : L18 x l2 x h1,5 cm.*

Les Frais de Port 0€
Dès 15€ d'achat OFFERTS

dès 5€ Tous vos produits ÉCONOMISEZ PLUS DE 50%

| | | |
|---|---|---|
| Harpagophytum BIO | ~~10,30~~ | 5,00€ |
| Artichaut - Radis Noir | ~~13,10~~ | 6,00€ |
| Vigne Rouge BIO | ~~10,10~~ | 5,00€ |
| Silicium Organique & Vit. C | ~~14,20~~ | 7,00€ |
| Tribulus | ~~15,10~~ | 7,00€ |
| Mes 2 Couteaux Céramique | | OFFERTS |
| Frais de port | ~~5,80~~ | OFFERTS |
| TOTAL | ~~68,60~~ | 30,00€ |

OFFRE DÉCOUVERTE SANS ENGAGEMENT - BON DE COMMANDE

Vos coordonnées ■ Mme ■ Mr
Nom, Prénom : .....
Adresse : .....
.....
Code Postal : |_|_|_|_|_| Ville : .....
Votre date d'anniversaire : |_|_| |_|_| 19|_|_|
E-mail* : .....
pour recevoir les **Newsletter ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON**
et des **partenaires d'ILAPHARM** ☐ **OUI** ou ☐ **NON** *Recommandé pour la livraison.

Choisissez votre mode de paiement
☐ **Par carte bancaire (débit immédiat uniquement) :**
N°|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|_|
Date d'expiration : |_|_|_|_|
Chiffres inscrits au dos de ma carte : |_|_|_|
Signature :
☐ **Par chèque, je choisis :** ○ débit immédiat ○ débit dans 1 mois à l'ordre des Laboratoires ILAPHARM

Laboratoires ILAPHARM SAS au capital de 38 112€, RCS Versailles B 384 620 878 - 27 rue de Solférino - 92100 Boulogne. Tél Sce client 01.49.09.11.11. Offre et frais de livraison valables en France Métropolitaine. En cas d'indisponibilité de votre cadeau, nous pourrons le remplacer par un autre d'une valeur similaire. Pour recevoir votre cadeau sans commander, joignez un chèque de 5,80€ de frais, envoi sous 90 jours. Photos non contractuelles. Pour exercer les droits que vous confère le Règlement européen sur la protection des données, veuillez nous écrire, téléphoner au 01.49.09.11.11 ou consulter nos conditions générales de vente sur notre site internet. Vous bénéficiez des dispositions de la garantie légale de non-conformité et des vices cachés dont la mise en œuvre et le contenu sont prévus aux articles L. 217-4 et suivants du Code de la consommation. Vous disposez d'un délai de rétractation de 30 jours après livraison de votre commande pour retourner les produits pour remboursement ou échange sans pénalités, sauf frais de retour. Traitée dans les 24h suivant sa réception, vous recevez votre commande après 72h d'acheminement environ. Les Laboratoires ILAPHARM adhèrent à la fédération du e-commerce et de la vente à distance (FEVAD) et au service de médiation du e-commerce (60 rue de la Boétie - 75008 Paris-relationconso@fevad.com). Pour votre santé, mangez au moins 5 fruits et légumes par jour, consultez www.mangerbouger.fr. Conditions générales de vente : www.ilapharm.com/conditions-generales-de-vente.html Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres des Laboratoires Ilapharm, cochez cette case ☐ ou écrivez-nous. Si vous ne souhaitez pas recevoir les offres de nos partenaires (commerciaux ou organismes) : cochez cette case ☐ ou écrivez-nous.

| NOM DU PRODUIT | RÉF. | QTÉ | PRIX RÉDUIT | TOTAL |
|---|---|---|---|---|
| Vigne Rouge BIO | PVRB45 | | 5€ | |
| Harpagophytum BIO | PHAB45 | | 5€ | |
| Guarana BIO | PGUB45 | | 6€ | |
| Maca BIO | PMAB45 | | 6€ | |
| Silicium Organique et Vitamine C | PSV45 | | 7€ | |
| Passiflore BIO | PPAB45 | | 6€ | |
| Huile de Courge BIO | PPCB45 | | 5€ | |
| Magnésium Marin et B6 | PMM45 | | 6€ | |
| Nopal BIO | PNOB45 | | 7€ | |
| Safran BIO | PSFB | | 7€ | |
| Ginseng Sibérien BIO | PGSB45 | | 6€ | |
| Artichaut - Radis Noir BIO | PXRAB | | 6€ | |
| Tribulus | PTR | | 7€ | |
| Ginkgo Biloba BIO | PGBB45 | | 6€ | |
| Frêne BIO | PFNB45 | | 5€ | |
| Spiruline BIO | PSNB45 | | 6€ | |
| ☐ Je reçois GRATUITEMENT mes COUTEAUX et mon CATALOGUE | | | | OFFERTS |
| ☐ Ma commande atteint 15€ , j'économise 5,80€ sur les frais de port | | | | OFFERTS |
| ☐ Ma commande est inférieure à 15€, je rajoute 5,80€ | | | | |
| CODE PRIVILÈGE : CS404 | | | TOTAL À RÉGLER | .....€ |

NOS GARANTIES :
SATISFAIT OU REMBOURSÉ GARANTIE 1 MOIS
PAYEZ DANS 1 MOIS
Envoyez votre **règlement par chèque**, il ne sera encaissé que dans 1 mois.
Charte Qualité fevad · synadiet · Traitement Rapide 24h COLLECO

POUR COMMANDER :
Par internet : www.ilapharm.com
Par téléphone : 01 49 09 11 11
Du lundi au vendredi : 9h-13h et 14h-18h
Par courrier : Laboratoires ILAPHARM C/O BSL, BP 60475, 35171 BRUZ CEDEX

Les contenants en plastique (PE, PP, PEHD), verre, papier, carton, les couvercles des flacons plastiques ainsi que tous les documents papiers sont recyclables.

# LIBÉREZ VOTRE ÂME D'ENFANT

SUZUKI

Way of Life!*

*Un style de vie !

## NOUVEAU VITARA HYBRID

Gamme à partir de
**18 490 €** (1)

**PRIME À LA CONVERSION DÉDUITE**

**Votre réunion téléphonique est terminée ? Il est temps de libérer l'enfant qui est en vous. Faites-vous plaisir aux commandes du Nouveau Suzuki Vitara Hybrid avec son système exclusif ALLGRIP. Profitez du dynamisme du moteur BOOSTERJET Hybrid et des dernières technologies Suzuki Safety System.**

**Maintenant, c'est l'heure de la récréation !**

**Consommations mixtes gamme Suzuki Vitara (NEDC corrélé - WLTP) : 4,6 - 5,7 à 6,2 - 7,6 l/100 km. Émissions $CO_2$ cycle mixte (NEDC Corrélé - WLTP) : 104 - 128 à 141 - 172 g/km.**

(1) Prix TTC du nouveau Suzuki Vitara 1.4 Boosterjet Hybrid Avantage, après déduction d'une remise de 2 650 € offerte par votre concessionnaire et d'une prime à la conversion de 1 500 €**. Offre réservée aux particuliers valable pour tout achat d'un nouveau Suzuki Vitara neuf du 17/02/2020 au 31/03/2020, en France métropolitaine dans la limite des stocks disponibles, chez les concessionnaires participants. **Modèle présenté : Nouveau Suzuki Vitara 1.4 Boosterjet Hybrid Style : 21 790 €, remise de 2 500 € déduite et d'une prime à la conversion de 1 500 €** + peinture métallisée So' Color : 850 €.** Tarifs TTC clés en main au 17/02/2020. **1 500 € de prime à la conversion conformément aux dispositions du décret n° 2019-737 du 16 juillet 2019 relatif aux aides à l'acquisition ou à la location des véhicules peu polluants. Voir conditions sur service-public.fr.

**Garantie 3 ans ou 100 000 km au 1er terme échu - Réservez votre essai sur www.suzuki.fr**